

电气工程应用技术丛书

变频调速系统工程设计与调试

周志敏　周纪海　纪爱华　编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

VISIT...

LANZAROTE Caliente.COM

电气工程应用技术丛书

变频调速系统工程设计与调试

周志敏　周纪海　纪爱华　编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目（**CIP**）数据

变频调速系统工程设计与调试/周志敏，周纪海，纪爱华编著．—北京：人民邮电出版社，2009.6

（电气工程应用技术丛书）

ISBN　978-7-115-19802-0

Ⅰ．变…　Ⅱ．①周…②周…③纪…　Ⅲ．①变频调速—控制系统—系统设计②变频调速—控制系统—调试　Ⅳ．TM921.51

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第023474号

内容提要

本书结合国内外变频调速技术的应用情况和发展趋势，系统地介绍了变频调速系统工程设计与调试中经常涉及的理论知识、工程应用技术和实际操作技能，具体包括变频调速系统的主电路设计、控制与检测电路、安装与布线技术、参数设置与调试、通信网络与现场总线以及工程应用实例等内容。本书内容新颖实用，文字通俗易懂，具有较高的实用价值。

本书可供电气传动、自动控制、航天及家电等领域从事变频调速技术研究开发、设计和应用的工程技术人员阅读，也可供高等学院电力电子、电气传动、工业自动化等专业的师生参考。

电气工程应用技术丛书

变频调速系统工程设计与调试

◆编著　周志敏　周纪海　纪爱华

责任编辑　刘朋

◆人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街14号

邮编　100061　　电子函件　315@ptpress.com.cn

网址　http://www.ptpress.com.cn

北京鸿佳印刷厂印刷

◆开本：787×1092　1/16

印张：21

字数：515千字　　2009年6月第1版

印数：1–4000册　　2009年6月北京第1次印刷
ISBN　978-7-115-19802-0/TN
定价：42.00元
读者服务热线：**(010)67129264**　印装质量热线：**(010)67129223**
反盗版热线：**(010)67171154**

目录

封面
扉页
版权信息
前言
第1章 概述
1.1 变频器基础知识
1.1.1 变频器的基本原理与一般分类
1.1.2 变频器的结构
1.2 变频器的控制方式
1.2.1 变频器控制方式的分类及其合理选用
1.2.2 PWM调制方式
1.3 变频器的技术发展趋势
第2章 变频调速系统主电路设计
2.1 变频器的选择
2.1.1 变频器的选型
2.1.2 变频器容量的选取
2.2 变频器选用件的特点和应用
2.2.1 变频调速系统的制动选件
2.2.2 电抗器和滤波器选件
2.3 变频调速系统的电气主接线及配套电气设备的选用
2.3.1 变频调速系统的电气主接线
2.3.2 变频调速系统配套电气设备的选用
2.3.3 变频调速系统电力电缆的技术特性
第3章 变频调速系统的控制与检测电路
3.1 变频器的外部控制电路
3.1.1 输入电路接线
3.1.2 输出电路接线
3.1.3 变频调速系统的隔离技术
3.1.4 PLCPLC与变频器的配合使用

3.2 变频调速系统的检测器件
3.2.1 测速发电机
3.2.2 光电编码器
3.2.3 接近开关
3.2.4 光电开关
第4章 变频调速系统的安装与布线技术
4.1 变频器的安装
4.1.1 变频器的工作环境
4.1.2 变频器的基本安装要求
4.2 变频调速系统的布线设计和抗干扰设计
4.2.1 变频调速系统的布线设计
4.2.2 变频调速系统布线的抗干扰设计
4.2.3 变频器周边控制回路的抗干扰措施
第5章 变频调速系统的参数设置与调试
5.1 变频器的参数设置
5.1.1 变频器的参数
5.1.2 变频器的频率给定
5.1.3 变频器压频比的正确设置
5.1.4 变频器的启停与加减速过程
5.1.5 变频器多功能端子的应用
5.1.6 变频器的转矩提升功能
5.1.7 变频器的直流制动功能
5.2 变频器参数设置实例
5.2.1 CX系列变频器在不同运行模式下的参数设置
5.2.2 ACS800系列变频器的参数设置
5.2.3 西门子变频器的参数设置
5.2.4 iF系列变频器的运行及参数设置
5.3 变频调速系统的调试
5.3.1 系统调试项目
5.3.2 变频器的操作
5.3.3 变频器的调试
5.4 变频器调试实例

5.4.1 风光变频器的调试
5.4.2　PowerSmart（或JZHICON-1A）系列高压变频器的调试
5.4.3 PI97G.V4普传系列变频器的调试
第6章 变频调速系统的通信网络与现场总线
6.1 变频调速系统的通信网络
6.1.1 通信网络模型与通信方式
6.1.2 通信接口
6.2 变频器与PLC 通信案例
6.2.1 变频器与三菱PLC的通信
6.2.2 西门子MMV变频器的远程控制及通信
6.2.3 台达变频器与计算机串口的通信
6.2.4 基于Modbus总线的变频调速系统
6.2.5 华为TD2000变频器的通信控制网
6.2.6 CX变频器与PLC的通信
6.2.7 PC 对多台TD3000变频器的实时监控
6.2.8 基于Profibus-DP现场总线的PLC与变频器的通信
6.2.9 三菱变频器与西门子PLC的通信
6.2.10　基于Profibus-DP现场总线控制ACS800系列变频器
6.2.11　基于Profibus-DP现场总线的S7-PLC与西门子变频器的通信
6.2.12 西门子6SE70系列变频器与S7-300/400 PLC的通信
6.2.13 西门子PLC与ABB变频器之间的现场总线通信
6.2.14　由TD变频器基于TDS-PA01适配器构成的调速系统
第7章 变频调速系统工程应用实例
7.1 ABB变频器在造纸机传动系统中的应用
7.2 四方E380系列变频器在伸线机上的应用
7.3 ABB变频技术在桥机上的应用
7.4 时代变频器在恒压供水行业中的应用

7.5 LG变频器在空压机供气系统中的应用
7.6 艾默生变频器在石油抽油机中的应用
7.7 ACC600变频器在水电站门式起重机中的应用
7.8 西门子SIMOVERTMV中压变频器在鼓风机上的应用
7.9 施耐德Altivar38变频器在鼓风机上的应用
7.10 FR变频器在中央空调冷冻泵中的应用
7.11 THYFREC-VT210S变频器在空调通风系统中的应用
7.12 ECO变频器在疏水泵上的应用
7.13 MM440变频器在给水泵上的应用
7.14 MASTERDRIVE6SE变频器在起重机大、小车行走驱动系统中的应用
7.15 ER440变频器在联动生产线上的应用
参考文献

前言

变频技术是应交流电动机无级调速的需要而诞生的，它是采用电力半导体器件将电压和频率固定不变的交流电变换为电压或频率可变的交流电能的一种静止变流技术，在以工频交流电为主的用电场合具有广阔的应用前景。

变频器自问世以来引起了国内外电气传动界的普遍关注，现已成为极具发展潜力和影响力的高新技术产品。以变频器为主构成的现代变频调速系统具有损耗低、效率高、外部电路简单等显著优点，因此，近年来在电气传动领域得到了日益广泛的应用。变频调速系统是电气传动系统的重要组成部分，其性能的优劣直接关系到整个系统的安全性和可靠性指标。为此，掌握变频调速技术特性是将变频技术应用到电气传动领域的理论基础，同时也是保证构成的变频调速系统具有较高的性价比、最简单的外围电路和最佳的性能指标的技术基础。变频调速系统的工程设计、参数设置和调试，是从事变频调速系统设计和应用的工程技术人员必须掌握的工程应用技术。

本书结合我国变频器的工程应用情况及一线工程技术人员的实际需求，将变频调速的基本理论知识和变频调速系统的工程设计、参数设置、系统调试、工程实例有机地融为一体，系统地介绍了变频调速系统的工程设计与调试技术。本书在写作上力求做到通俗易懂和结合实际，以使从事变频调速系统工程设计和应用的工程技术人员从中获益。

参加本书编写工作的有周志敏、周纪海、纪爱华、冷春爱、秦庆莲、张文博、纪达奇、刘云飞、王东、张彦、蒋惠萍等。在本书的写作过程中，在资料收集和技术信息交流方面得到了国内专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

第1章 概述

- 变频器基础知识
- 变频器的控制方式
- 变频器的技术发展趋势

1.1 变频器基础知识

1.1.1 变频器的基本原理与一般分类

1．变频器的基本原理

异步电动机调速的基本原理基于以下公式。

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} \tag{1-1}$$

式中：n₁ 为同步转速（r/min）；f₁ 为定子供电电源的频率（Hz）；p 为磁极对数。

一般异步电动机转速n与同步转速n₁ 之间存在一个滑差关系，即

$$n = n_1(1-s) = \frac{60 f_1}{p}(1-s) \tag{1-2}$$

式中：n为异步电动机转速（r/min）；s为异步电动机转差率。

由式（1-2）可知，可通过改变f₁ 、p、s中的任意一

个实现调速，对异步电动机来说最好的方法是通过改变频率f₁ 来实现调速控制。由电动机理论，三相异步电动机每相电动势的有效值与下式有关。

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 \varphi_m \qquad (1\text{-}3)$$

式中：E₁ 为定子每相电动势有效值（V）；f₁ 为定子供电电源的频率（Hz）；N₁ 为定子绕组有效匝数；Φ_m 为定子磁通（Wb）。

针对式（1-3）可分两种情况进行分析。

（1）在频率低于供电电源的额定频率时属于恒转矩调速

设计变频器时为维持电动机输出转矩不变，必须维持每极气隙磁通Φ_m 不变，从式（1-3）可知，也就是要使E₁ /f₁ 为常数。如忽略定子漏阻抗压降，可以认为供给电动机的电压U₁ 与频率f₁ 按相同比例变化，即U₁ /f₁ 为常数。

但是在频率较低时，定子漏阻抗压降已不能忽略，因此要人为地提高定子电压，以作漏阻抗压降的补偿，维持E₁ /f₁ 近似为常数，此时变频器输出特性曲线为图 1-1中的曲线2，而不再是曲线1。

多数变频器在频率低于电动机额定频率时输出的电压 U₁ 和频率 f₁ 的关系类似于图 1-1 中的曲线 2，并且随着设置不同，可改变补偿曲线的形状，应用时要根据实际电动机运行情况进行调整。

（2）在频率高于定子供电电源的额定频率时属于恒功率调速

此时变频器的输出频率f₁ 升高，但变频器的电源电压由电网电压决定，不能继续升高。根据式（1-3），E₁ 不能变，f₁ 升高必然使Φ_m 下降，由于Φ_m 与电流或转矩成正比，因此也就使转矩下降。转矩虽然下降了，但因转速升高了，所以它们的乘积并未改变（转矩与转速的乘积表征着功率）。因此，这时候电动机在恒功率输出的状态下运行。异步电动机变频调速恒转矩和恒功率区域状态的特性如图 1-2 所

示。Φ_m 的大小表征电动机转矩的大小，因此，Φ_m 曲线可以看作为转矩曲线。

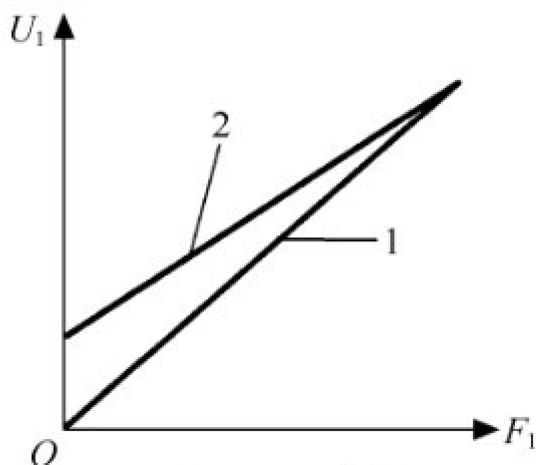


图1-1 U1/F1关系

1— U1/F1＝常数；

2— 2—E1/F1＝常数

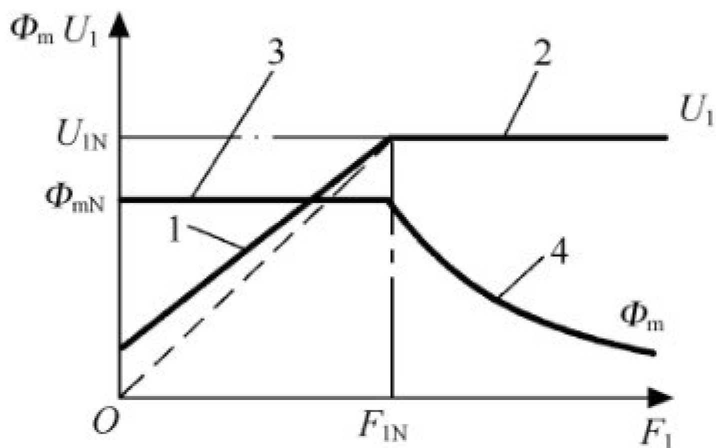


图1-2 异步电动机调速时的输出特性

1—恒转矩时的电压曲线；2—恒功率时的电压曲线；

3—恒转矩时的转矩曲线；4—恒功率时的转矩曲线

由以上分析可知的，通用变频器对异步电动机调速时，输出频率和电压是按一定规律改变的，在额定频率以下，变频器的输出电压随输出频率升高而升高，即所谓的变压变频调速（VVVF）。而在额定频率以上，电压并不改变，只改变频率。

实际上多数变频调速场合是用于额定频率以下，低频时采用的补偿都是为了解决低频转矩下降的问题，所采用的方式多种多样，有矢量控制技术、直接转矩控制技术以及拟超导技术（森兰变频特有专利技术）等。其作用不外乎动态地改变低频时变频器的输出电压、输出相位或输出频率，也就是利用计算机技术实时地而不是固定地改变图1-1中曲线1的形状以达到低速时转矩提升，并且稳定运行，又不至于因电流太大而造成故障。

2．变频器的分类

（1）按变换的环节分类

① 交—交变频器。交—交变频器是将工频交流电直接变换成频率、电压可调的交流电（转换前后的相数相同），又称直接式变频器。对于大容量、低转速的交流调速系统，常采用晶闸管交—交直接变频器，供电给低速电动机直接传动时，可以省去庞大的齿轮减速箱。其缺点是：最高输出频率不超过电网频率的 1/3，且输入功率因数较小，谐波电流含量大，谐波频谱复杂，因此，必须配置大容量的滤波和无功补偿设备。

近年来又出现了一种应用全控型开关器件的矩阵式交—交变压变频器，在三相输入与三相输出之间用9组双向开关组成矩阵阵列，采用PWM控制方式，可直接输出变频电压。这种调速方法的主要优点如下。

- 输出电压和输入电流的低次谐波含量都较小。
- 输入功率因数可调。
- 输出频率不受限制。
- 能量可双向流动，可获得四象限运行。
- 可省去中间直流环节的电容元件。

交—交变频技术自从20世纪70年代末提出以来一直受到电力电子学科研究者的高度重视。

② 交—直—交变频器。交—直—交变频器是先把工频交流电通过整流器变成直流电，再把直流电变换成频率、电压可调的交流电，又称间接式变频器。交—直—交变频器是目前广泛应用的通用型变频器。

（2）按直流电源性质分类

① 电流型变频器。电流型变频器的特点是中间直流环节采用大电感器作为储能环节来缓冲无功功率，即扼制电流的变化，使电压波形接近正弦波。由于该直流环节的内阻较大，故称电流源型变频器（电流型）。电流型变频器能扼制负载电流的频繁、急剧变化，常应用于负载电流变化较大的场合。

② 电压型变频器。电压型变频器的特点是中间直流环节的储能元件采用大电容器作为储能环节来缓冲无功功率，直流环节的电压比较平稳，直流环节的内阻较小，相当于电压源，故称电压源型变频器（电压型），常应用于负载电压变化较大的场合。

（3）根据电压的调制方式分类

① 脉宽调制（SPWM）变频器。脉宽调制变频器输出电压的大小是通过调节脉冲占空比来实现的，中、小容量的通用变频器几乎全都属于此类变频器。

② 脉幅调制（PAM）变频器。脉幅调制变频器输出电压的大小是通过调节直流电压的幅值来实现的。

（4）根据输入电源的相数分类

① 三进三出变频器。三进三出变频器的输入侧和输出侧都是三相交流电。绝大多数变频器都属于此种类型。

② 单进三出变频器。单进三出变频器的输入侧为单相交流电，输出侧是三相交流电。家用电器里的变频器均属于此种类型，通常容量较小。

此外，变频器还可以按输出电压的调节方式、主开关元器件或输入电压的高低分类。

3．变频器的额定数据

（1）输入侧的额定数据

① 输入电压U_{IN} ：即电源侧的电压。在我国低压变频器的输入电压通常为380V （三相）或220V（单相）。中、高压变频器的输入电压通常为0.66kV、3kV或6kV（三相）。此外，变频器还对输入电压的允许波动范围作出规定，如±10%、－15%～＋10%等。

② 相数：如单相、三相。

③ 频率f_{IN} ：即电源频率（常称工频），我国为50Hz。频率的允许波动范围通常规定为±5%。

（2）输出侧的额定数据

① 额定电压 U_N ：因为变频器的输出电压要随频率而变，所以，U_N 定义为输出的最大电压。通常，它总是和输入电压U_{IN} 相等。

② 额定电流I_N ：变频器允许长时间输出的最大电流。

③ 额定容量S_N ：由额定线电压U_N 和额定线电流I_N 的乘积决定，即

S_N ＝U_N ×I_N （1-4）

容量为在连续不变负载中允许配用的最大负载容量。在生产机械中，负载的容量主要是根据发热状况来定的。在变动负载、断续负载及短时负载条件下，只要温升不超过允许值，在由变频器构成的控制系统中，因电动机是允许短时间（几分钟或几十分钟）过载的，而变频器则允许150%过载1min。所以，在选用变频器时应充分考虑负载的工况。

④ 过载能力：指变频器的输出电流允许超过额定值的倍数和时间。大多数变频器的过载能力规定为：150%，1min。可见，与电动机的允许过载时间相比，变频器的允许过载时间是很短的。

4．电压源型变频器和电流源型变频器的特点

电压源型和电流源型变频器都属于交—直—交变频器，其主电路由整流器、平波电路和逆变器3部分组成。由于负载一般都是感性的，它和电源之间必有无功功率传送，因此，在中间的直流环节中需要有缓冲无功功率的元件。如果采用大电容器来缓冲无功功率，则构成电压源型变频器；如果采用大电抗器来缓冲无功功率，则构成电流源型变频器。电压源型变频器和电流源型变频器的特点见表1-1。

表1-1 电压源型变频器和电流源型变频器的特点

项目	电流源型变频器	电压源型变频器
电流滤波方式	电感滤波	电容滤波
电压波形	近似正弦波（电动机负载）	矩形波（或阶梯形波）
电流波形	矩形波	近似正弦波
电动运行		
再生发电运行		
电源阻抗	大	小
适用范围	适用于单机拖动，频繁加、减速并需经常反向的场合	适用于向多台电动机供电，不可逆拖动，稳速工作，快速性要求不高的场合
其他	① 对于电流源型变频器来说不需要换流电感器； ② 可使用关断时间较长的普通晶闸管； ③ 过电流保护容易； ④ 不需要滤波电容	① 对于电压源型变频器来说需要换流电感器； ② 晶闸管承受的电压低，要求晶闸管关断时间短； ③ 过电流保护困难； ④ 需要滤波电容

1.1.2 变频器的结构

1．主电路

变频器中给负载提供调压调频电源的电力变换部分称为变频器的主电路。图1-3示出了典型电压源型变频器的主电路，该主电路由3部

分构成，包括将工频电源变换为直流电的整流器、将直流电变换为交流电的逆变器以及吸收整流器和逆变器产生的电压脉动的平波回路。另外，若负载为异步电动机，在变频调速系统需要制动时，还需要附加制动回路。

（1）整流器

变频器一般使用的整流器是二极管整流器，如图1-3所示，它把工频电源变换为直流电源。也可用两组晶体管整流器构成可逆变整流器，由于可逆变整流器的功率方向可逆，可以进行再生运行。它与单相或三相交流电源相连接，产生脉动的直流电压。

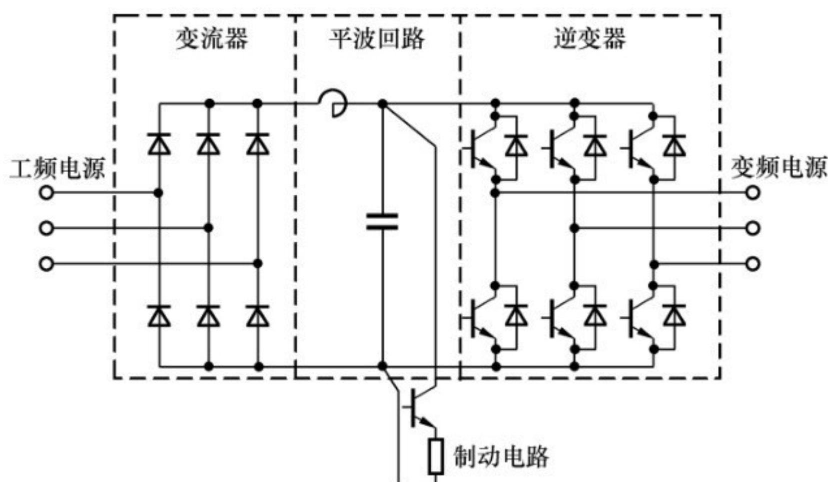


图1-3 变频器主电路图

（2）平波回路

在整流器整流后的直流电压中含有频率为电源频率6倍的脉动电压，此外逆变器产生的脉动电流也会使直流电压变化。为了抑制电压波动，采用电感和电容吸收脉动电压（电流）。变频器的容量小时，如果电源容量相对于变频器容量来说较大，构成变频器主电路的器件有一定余量，可以省去电感而采用简单的平波回路。平波回路有以下3种作用。

① 使脉动的直流电变得稳定或平滑，供逆变器使用。

② 通过开关电源为各个控制电路供电。

③ 可以配置滤波或制动装置以提高变频器的性能。

（3）逆变器

利用晶闸管装置将直流电转变为交流电，这一功能就叫逆变。整流和逆变关系密切，若同一套晶闸管装置既可以工作在整流状态下，而在一定条件下又可以工作在逆变状态下，则常称这一装置为变流器。与整流器相反，逆变器是将直流电变换为所要求的可变压变频的交流电，控制电路以所确定的时间控制6个开关器件导通、关断，就可以得到3相变压变频交流输出。逆变分为有源逆变和无源逆变（变频），变流器工作在逆变状态下时，若把直流电转变为 50Hz 的交流电送到电网中，则称之为有源逆变；若把直流电转变为某一频率或频率可调的交流电供给负载使用，则称之为无源逆变或变频。

（4）制动回路

异步电动机的负载在再生制动区域使用时（转差率为负），再生能量储存在平波回路的电容器中，使直流环节的电压升高。一般来说，由机械系统（含电动机）惯量积累的能量比电容能储存的能量大，为抑制直流电路电压上升，需采用制动回路消耗直流电路中的再生能量，制动回路也可采用可逆整流器把再生能量向工频电网反馈。

2．控制电路

变频器的控制电路是给变频器主电路提供控制信号的回路。变频器的控制电路如图 1-4所示，它将信号传送给整流器、中间电路和逆变器，同时它也接收来自这些部分的信号，其主要功能如下。

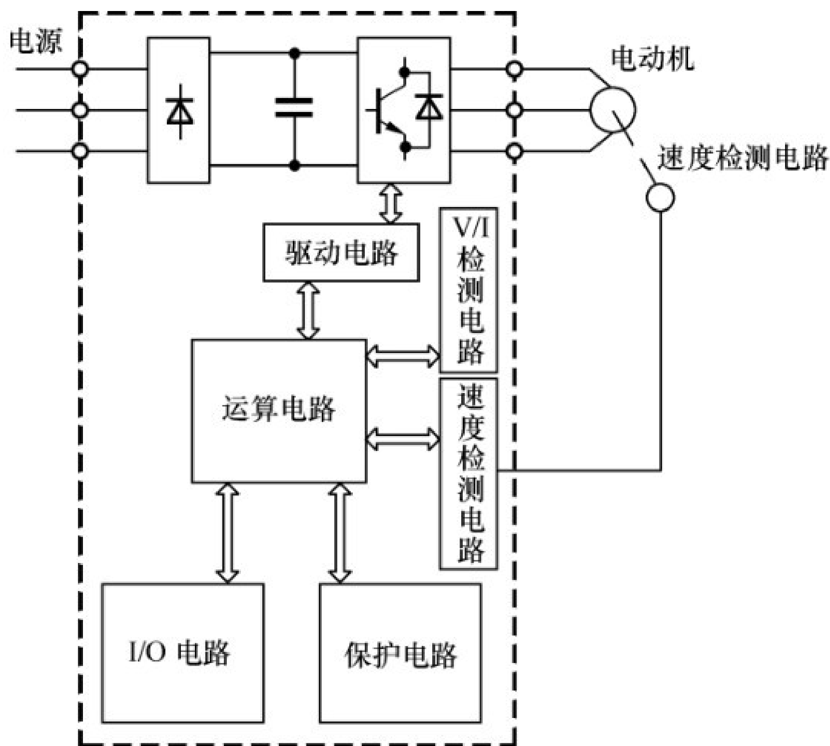


图1-4 变频器控制电路图

① 利用信号来开关逆变器的半导体器件。

② 为变频器提高各种控制信号。

③ 监视变频器的工作状态，提供保护功能。

控制电路包括：频率、电压的运算电路，主电路的电压、电流（V/I）检测电路，用于变频调速系统电动机的速度检测电路，对运算电路的控制信号进行放大的驱动电路，以及逆变器和负载的保护电路等。

① 运算电路。运算电路的功能是将变频器的电压、电流检测电路的信号及变频器外部负载的非电量信号（速度、转矩等经检测电路转换为电信号）与给定的电流、电压信号进行比较，决定逆变器的输出电压、频率。

② 电压、电流检测电路。变频器的电压、电流检测电路采用电隔

离检测技术来检测主回路的电压、电流，并对检测到的电压、电流信号进行处理和转换，以满足变频器控制电路的需要。

③ 驱动电路。变频器驱动电路的功能是在控制电路的控制下，产生功率足够大的驱动信号使主电路开关器件导通或关断。控制电路采用电隔离技术实现对驱动电路的控制。

④ I/O电路。变频器I/O电路的功能是使变频器更好地实现人机交互。变频器具有多种输入信号（如运行、多段速度运行等），还有各种内部参数的输出信号（如电流、频率、保护动作驱动信号等）。

⑤ 速度检测电路。速度检测电路以装在异步电动机轴上的速度检测器（TG、PLG等）为核心，对检测到的电动机转速信号进行处理和转换并送入运算电路，可使电动机按给定转速运转。

保护电路是通过检测主电路的电压、电流等参数来判断变频器的运行状况。当出现过载或过电压等异常时，为了防止变频器的逆变电路器件和负载损坏，应使变频器中的逆变电路停止工作或抑制输出电压、电流值。变频器中的保护电路可分为变频器保护和负载（异步电动机）保护两种，见表1-2。

表1-2 保护功能

保护对象	保护功能	保护对象	保护功能
变频器保护	瞬时过电流保护 过载保护 再生过电压保护 瞬时停电保护 接地过电流保护 冷却风机异常保护	异步电动机保护	过载保护 超频（超速）保护
		其他保护	失速过电流保护 失速再生过电压保护

变频器的保护功能如下。

① 瞬时过电流保护。在变频器逆变器的负载侧发生短路时，若流过逆变器开关器件的电流达到异常值（超过容许值），则瞬时过电流保护动作，使逆变器停止运行。当整流器的输出电流达到异常值时，也同样使逆变器停止运行。

② 过载保护。在逆变器的输出电流超过额定值且电流持续时间达到规定值以上时，为了防止逆变器的开关器件损坏，过载保护动作，使逆变器停止运行。过载保护需要具有反时限特性，可采用热继电器

或者电子热保护（由电子电路构成）。

③ 再生过电压保护。在电动机快速减速时，再生功率将使变频器直流电路的电压升高，有时会超过容许值。这时可以采取使逆变器停止运行或停止快速减速的方法，防止变频器过电压。

④ 瞬时停电保护。对于数毫秒以内的瞬时停电，变频器的控制电路是可以正常工作的。但瞬时停电时间达 10ms 以上时，通常不仅控制电路会误动作，主电路也不能供电，所以变频器应设置瞬时停电保护，在发生瞬时停电后使变频器的逆变器停止运行。

⑤ 接地过电流保护。当逆变器负载接地时，为了保护逆变器，需要设置接地过电流保护功能。但为了确保人身安全，还需要装设漏电断路器。

⑥ 冷却风机异常保护。对于有冷却风机的变频器，当风机异常时变频器内的温度将升高，因此应采用风机热继电器或器件散热片温度传感器，检测出异常后使逆变器停止运行。

⑦ 失速过电流保护。变频调速系统在急速加速时，如果异步电动跟踪迟缓，则过电流保护电路会动作，电动机就不能继续运转（失速）。所以，在负载电流减小之前要进行控制，抑制频率上升或使频率下降。对于恒速运转中的过电流，有时也进行同样的控制。

⑧ 失速再生过电压保护。变频调速系统在减速时产生的再生能量会使主电路的直流电压上升，为了防止再生过电压，在直流电压上升之前要进行控制，抑制频率下降，防止调速系统失速。

负载的保护功能如下。

①　过载保护。负载的过载检出单元与逆变器的过载保护电路共用，但考虑到变频调速系统中的电动机在低速运转时过热，在异步电动机内埋入温度传感器，或者利用装在逆变器内的电子热保护装置来检出电动机的过热状态。当电动机过载保护动作频繁时，可以考虑减轻电动机负载、增大电动机及变频器的容量等。

② 超额（超速）保护。变频器的输出频率或者变频调速系统的电动机的转速超过规定值时，超额（超速）保护动作，使变频器停止运行。

1.2 变频器的控制方式

1.2.1 变频器控制方式的分类及其合理选用

1．变频器控制方式的分类

在变频器中使用的非智能控制方式有U/F协调控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制等。低压通用变频器的输出电压为380～650V，输出功率为0.75～400kW，工作频率为0～400Hz，它的主电路都采用交—直—交电路，其控制方式如下。

（1）U/F ＝ C的正弦脉宽调制（SPWM）控制方式

U/F控制是为了得到理想的转矩—速度特性，基于在改变电源频率进行调速的同时又要保证电动机的磁通不变的思想而提出的。通用型变频器基本上都采用这种控制方式。U/F控制变频器的结构非常简单，但是这种变频器采用开环控制方式，不能达到较高的控制性能，而且在低频时必须进行转矩补偿，以改变低频转矩特性。

U/F ＝ C 的正弦脉宽调制控制方式的特点是：控制电路结构简单，成本较低，机械特性的硬度也较好，能够满足一般传动系统的平滑调速要求。这种控制方式在低频时，由于输出电压较低，受定子电阻压降的影响比较显著，故造成最大输出转矩减小。另外，其机械特性没有直流电动机硬，动态转矩能力和静态调速性能都不理想，以U/F＝C控制的系统性能不好，控制曲线会随负载的变化而变化，转矩响应慢，电动机转矩利用率不高，低速时因定子电阻和逆变器死区效应的存在而使性能下降，系统的稳定性变差等。

（2）矢量控制（磁场定向法）

20世纪70年代西门子公司的工程师F.Blaschke首先提出异步电动机矢量控制理论来解决交流电动机转矩控制问题。矢量控制（又称VC控制）变频调速的做法是：将异步电动机在三相坐标系中的定子交流电流 I_a、I_b、I_c 通过三相—二相变换，等效成两相静止坐标系中的交流电流I_{a1}、

I_{b1}，再通过转子磁场定向旋转变换，等效成同步旋转坐标系中的直流电流I_{m1}、I_{t1}（I_{m1}相当于直流电动机的励磁电流，I_{t1}相当于直流电动机中与转矩成正比的电枢电流），然后模仿直流电动机的控制方法，求得直流电动机的控制量，经过相应的坐标反变换，实现对异步电动机的控制。

矢量控制的实质是将交流电动机等效为直流电动机，分别对速度和磁场两个分量进行独立控制。通过控制转子磁链及转子磁通定向，然后分解定子电流而获得转矩和磁场两个分量，经坐标变换实现正交或解耦控制。矢量控制方法的提出具有划时代的意义。然而在实际应用中，由于转子磁链难以准确观测，系统特性受电动机参数的影响较大，且在等效直流电动机控制过程中所用的矢量旋转变换较复杂，实际的控制效果难以达到理想分析的结果。

矢量控制方式有基于转差频率控制的矢量控制方式、无速度传感器的矢量控制方式和有速度传感器的矢量控制方式等。基于转差频率的矢量控制方式与转差频率控制方式的主要区别是：基于转差频率的矢量控制还要经过坐标变换对电动机定子电流的相位进行控制，使之满足一定的条件，以消除转矩电流过渡过程中的波动。因此，基于转差频率的矢量控制方式比转差频率控制方式在输出特性方面能得到很大的改善。但是，这种控制方式属于闭环控制方式，需要在电动机上安装速度传感器，因此，应用范围受到限制。

无速度传感器的矢量控制是通过坐标变换处理，分别对励磁电流和转矩电流进行控制，然后通过控制电动机定子绕组上的电压、电流辨识转速，以达到控制励磁电流和转矩电流的目的。这种控制方式调速范围宽，启动转矩大，工作可靠，操作方便，但计算比较复杂，一般需要专门的处理器来进行计算，因此，实时性不是太理想，控制精度受到计算精度的影响。

采用矢量控制方式的通用变频器不仅可在调速范围上与直流电动机相匹配，而且可以控制异步电动机产生的转矩。由于矢量控制方式所依据的是准确的被控异步电动机的参数，有的通用变频器在使用时

需要准确地输入异步电动机的参数，有的通用变频器需要使用速度传感器和编码器。目前新型矢量控制通用变频器中已经具备异步电动机参数自动检测、自动辨识、自适应功能，带有这种功能的通用变频器在驱动异步电动机进行正常运转之前可以自动地对异步电动机的参数进行辨识，并根据辨识结果调整控制算法中的有关参数，从而对普通的异步电动机进行有效的矢量控制。

（3）直接转矩控制（DTC控制）

德国的Depenbrock教授于1985年提出直接转矩控制方式，其思路是把电动机和逆变器看成一个整体，采用空间电压矢量分析方法在定子坐标系中进行磁通、转矩计算，通过跟踪PWM 逆变器的开关状态直接控制转矩。因此，无须对定子电流进行解耦，免去了矢量变换的复杂计算，控制结构简单。该技术在很大程度上解决了矢量控制的不足，并以新颖的控制思想、简洁明了的系统结构、优良的动/静态性能得到了迅速发展。目前，该技术已成功地应用在电力机车牵引的大功率交流传动上。

直接转矩控制技术是利用空间矢量、定子磁场定向的分析方法，直接在定子坐标系中分析异步电动机的数学模型，计算与控制异步电动机的磁链和转矩，采用离散的两点式调节器（Band-Band 控制），把转矩检测值与转矩给定值作比较，将转矩波动限制在一定的容差范围内（容差的大小由频率调节器来控制）并产生脉宽调制信号，直接对逆变器的开关状态进行控制，以获得高动态性能的转矩输出。它的控制效果不取决于异步电动机的数学模型是否能够简化，而是取决于转矩的实际状况，它不需要对交流电动机与直流电动机进行比较、等效、转化，即不需要模仿直流电动机的控制。由于它省掉了矢量变换方式的坐标变换与计算和为解耦而简化异步电动机的数学模型，没有通常的脉宽调制信号发生器，所以它的控制结构简单，控制信号处理的物理概念明确，系统的转矩响应迅速且无超调，是一种具有高静、动态性能的交流调速控制方式。即使在开环的状态下，也能输出100%的额定转矩，对于多拖动系统来说具有负荷平衡功能。

（4）矩阵式交—交方式

VVVF变频、矢量控制变频、直接转矩控制变频都是交—直—交变频控制方式中的一种，其共同缺点是输入功率因数低，谐波电流大，直流回路需要大的储能电容，再生能量又不能反馈回电网，即不能进行四象限运行。为此，矩阵式交—交变频方式应运而生。由于矩阵式交—交变频方式省去了中间直流环节，从而省去了体积大、价格高的电解电容。它能实现功率因数为l，输入电流为正弦且能四象限运行，系统的功率密度大。该技术目前虽尚未成熟，但仍吸引着众多的学者深入研究。其实质不是间接地控制电流、磁链等量，而是把转矩直接作为被控制量来实现，具体方法如下。

① 引入定子磁链观测器，实现无速度传感器方式。

② 依靠精确的电动机数学模型，对电动机参数进行自动识别。

③ 依据定子阻抗、互感、磁饱和因素、惯量等算出实际的转矩、定子磁链、转子速度，进行实时控制。

④ 按磁链和转矩的Band-Band控制产生PWM信号，对逆变器的开关状态进行控制。

矩阵式交—交方式具有快速的转矩响应特性（小于2ms）、很高的速度精度（误差为±2%，无PC反馈）、较高的转矩精度（误差小于+3%）和较大的启动转矩，尤其是在低速（包括零速度）时，可输出150%~200%转矩。

限制矩阵式变频器实际应用的因素如下。

① 功率器件数量多，装置结构复杂。

② 双向开关存在安全换流问题。

③ 当输出电压必须接近正弦波时，理论上的最大输出、输入电压比只有0.866。

20世纪90年代人们开发出了几种智能换流技术（二步换流、四步换流等），使第二个问题得到了解决。现有的一些控制方案已能实现更高的电压比，使第3项也不成问题。在应用上最大的进展是2000年以后出现的功率模块（一相模块“3in1”、4kW的矩阵式功率模块），它们克服了矩阵式变频器最大的缺点。

（5）最优控制

最优控制基于最优控制理论，根据最优控制的理论对某一个控制要求进行个别参数的最优化。在实际的应用中，控制系统根据要求的不同而有所不同，例如在高压变频器的控制应用中，就成功地采用了时间分段控制和相位平移控制两种策略，以实现一定条件下的电压最优波形。

（6）其他控制方式

在实际应用中，还有一些非智能控制方式在变频器的控制中得以实现，例如自适应控制、滑模变结构控制、差频控制、环流控制、频率控制等。

2．变频器控制方式的合理选择

变频器的控制方式决定了由其构成的变频调速控制系统的动态性能。目前市场上低压通用变频器品牌很多，包括欧、美、日及国产的共近百种。选用变频器时不要认为档次越高越好，其实只要按负载的特性，满足使用要求即可，以使构成的变频调速控制系统具有高的性能价格比。变频器不同控制方式的技术参数见表1-3。

表1-3 变频器不同控制方式的技术参数

控制方式	*U/F* = *C* 控制		电压空间矢量控制	矢量控制		直接转矩控制
反馈装置	不带 PG	带 PG 或 PID 调节器	不需要反馈装置	不带 PG	带 PG 或编码器	不带 PG
速比	<1:40	1:60	1:100	1:100	1:1000	1:100*
启动转矩（在3Hz 时）	150%	150%	150%	150%	零转速时为150%	启动转矩（在 0Hz 时）为 150%～200%
静态速度精度	±（0.2%～0.3%）	±（0.2%～0.3%）	±0.2%	±0.2%	±0.02%	±0.2%**
适用场合	一般风机、泵类等	较高精度的调速、控制	一般工业上的调速或控制	所有调速或控制领域	伺服拖动、高精度传动、转矩控制	重负载启动、惯性重负载，恒转矩波动大负载

注：*直接转矩控制，在带PG或编码器后，速比可拓展至1:1000。

**在带PG或编码器后，静态速度精度可达0.01%。

1.2.2 PWM调制方式

目前中小功率的变频电路几乎都采用 PWM 技术，PWM 变频电路也可分为电压型和电流型两种。根据正弦波频率、幅值和半周期脉

冲数，准确计算PWM波各脉冲宽度和间隔，据此控制变频电路中开关器件的通断，就可得到所需的PWM波形。当输出的正弦波的频率、幅值或相位变化时，其结果都要变化。

通常采用等腰三角波或锯齿波作为PWM波的载波，其中等腰三角波应用得最多，其任一点的水平宽度和高度成线性关系且左右对称，与任一平缓变化的调制信号波相交，在交点控制开关器件的通断，就得到宽度正比于信号波幅值的脉冲，其符合PWM的要求。

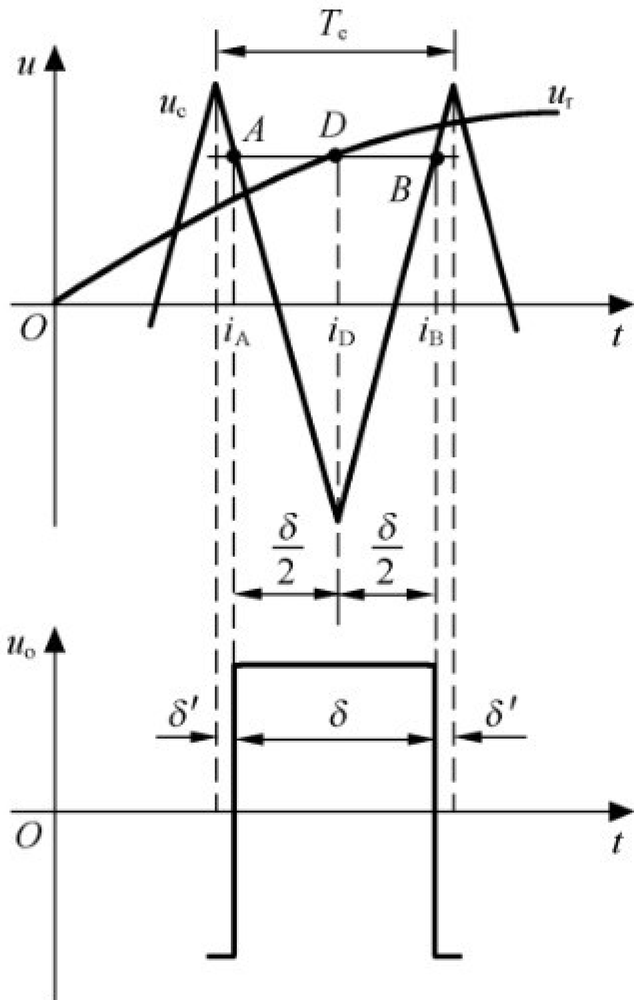


图1-5 规则采样法

调制信号波为正弦波时，得到的就是SPWM波。调制信号不是正弦波而是其他所需波形时，也能得到等效的PWM波。采用等腰三角形作为PWM载波，其三角波两个正峰值之间为一个采样周期 T_c 。在自然采样法中，脉冲中点不和三角波一周期中点（即负峰点）重合。而规则采样法使两者重合，每个脉冲中点为相应三角波中点，使计算大为简化，如图1-5所示。三角波负峰时刻 t_D 对信号波采样得D点，过D点作水平线和三角波交于A、B点，在A点对应时刻 t_A 和B点对应时刻 t_B 控制开关器件的通断。脉冲宽度d和用自然采样法得到的脉冲宽度非常接近。

双极性 PWM控制方式的波形如图 1-6所示，在 u_r 的半个周期内，三角载波有正有负，所得的PWM波也有正有负。在 u_r 的一个周期内，输出的PWM波只有 $\pm U_d$ 两种电平。仍在调制信号 u_r 和载波信号 u_c 的交点控制开关器件的通断。

特定谐波消去法输出的PWM波形如图1-7所示。在输出电压的半周期内，开关器件导通、关断各3次（不包括0和π），共6个开关时刻可控。为减少谐波并简化控制，要尽量使波形对称。为消除偶次谐波，应使波形正、负两个半周期对称。

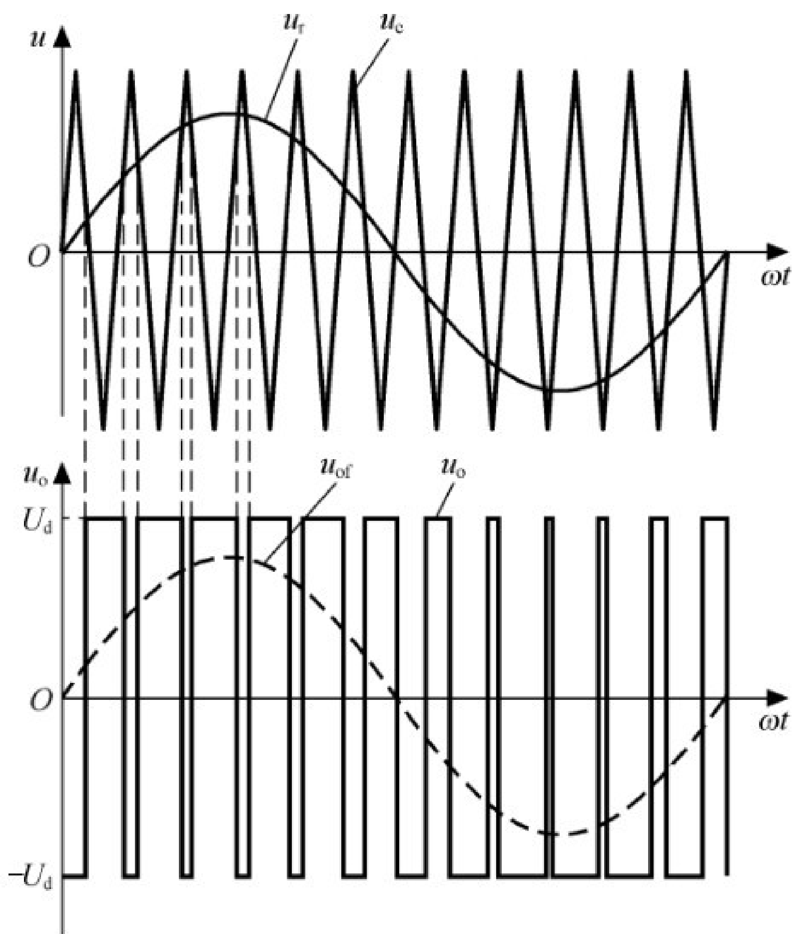


图1-6 双极性PWM控制方式的波形

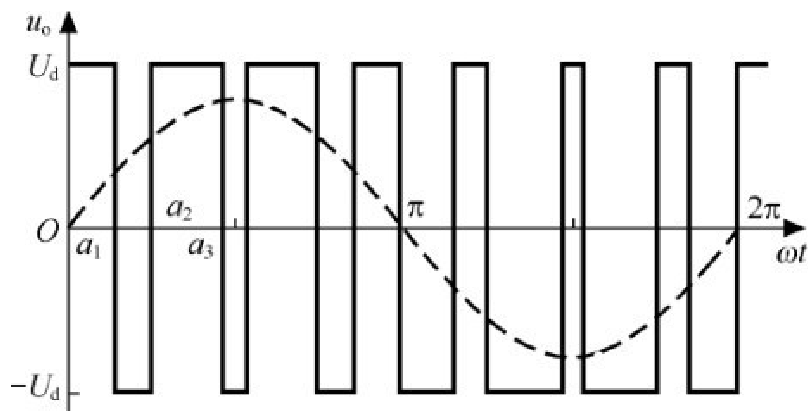


图1-7 特定谐波消去法输出的PWM波形

根据载波和信号波是否同步及载波比（载波频率f_c 与调制信号的频率f_r 之比，即N ＝ f_c /f_r ）的变化情况，PWM调制方式分为异步调制和同步调制。

（1）异步调制

异步调制是载波信号和调制信号不同步的调制方式，通常保持f_c 固定不变，当f_r 变化时，载波比N是变化的。在信号波的半周期内，PWM波的脉冲个数不固定，相位也不固定，正、负半周期的脉冲不对称，半周期内前后1/4周期的脉冲也不对称。

① 当f_r 较小时，N较大，一周期内的脉冲数较多，PWM脉冲不对称的不利影响都较小。

② 当f_r 增大时，N减小，一周期内的脉冲数减少，PWM脉冲不对称的不利影响就大。

（2）同步调制

同步调制使N等于常数，并在变频时使载波和信号波保持同步，f_r 变化时N不变，信号波一个周期内输出的脉冲数固定。三相共用一个三角载波，且取N为3的整数倍，使三相输出对称。同步调制三相PWM波形如图1-8所示。

为使一相的PWM波正、负半周对称，N应取奇数，f_r 很小时f_c 也很小，由调制带来的谐波不易滤除；f_r 很大时，f_c 会过大，使开关器件难以承受。

把f_r 划分成若干个频段，在每个频段内保持N恒定，不同频段内N不同。在f_r 大的频段采用较小的N，使载波频率不致过高；在f_r 小的频段采用较大的N，使载波频率不致过低。

分段同步调制方式如图1-9所示，为防止f_c 在切换点附近来回跳动，采用滞后切换的方法。同步调制比异步调制复杂，但采用微机控制时容易实现，可在低频输出时采用异步调制方式，高频

输出时切换到同步调制方式，这样把两者的优点结合起来和分段同步调制方式的效果接近。

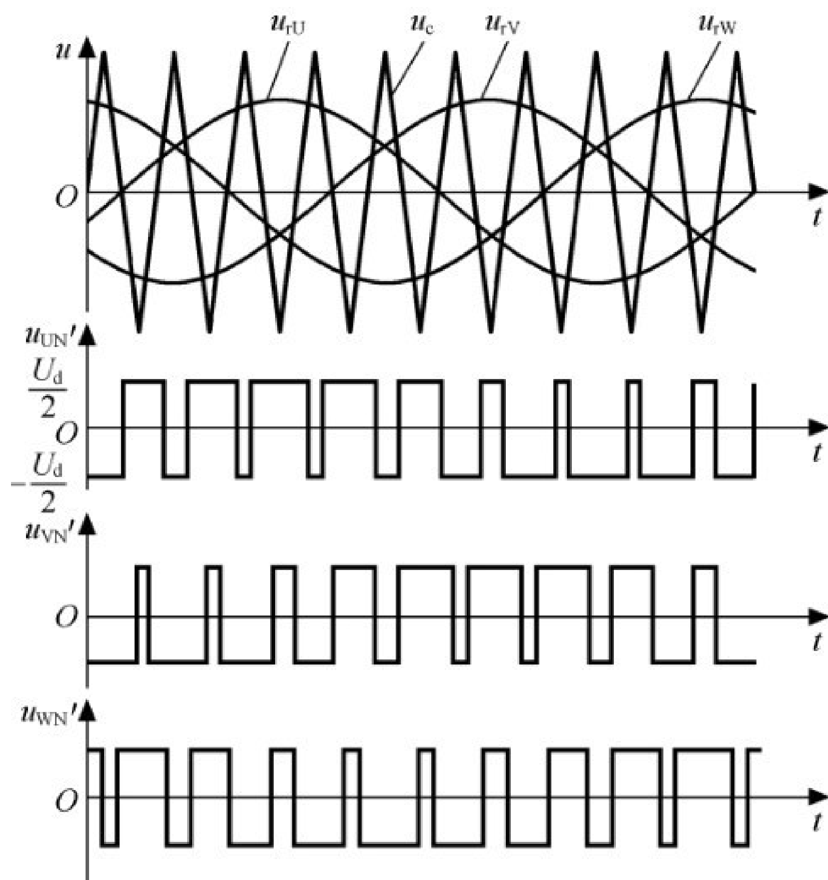


图1-8 同步调制三相PWM波形

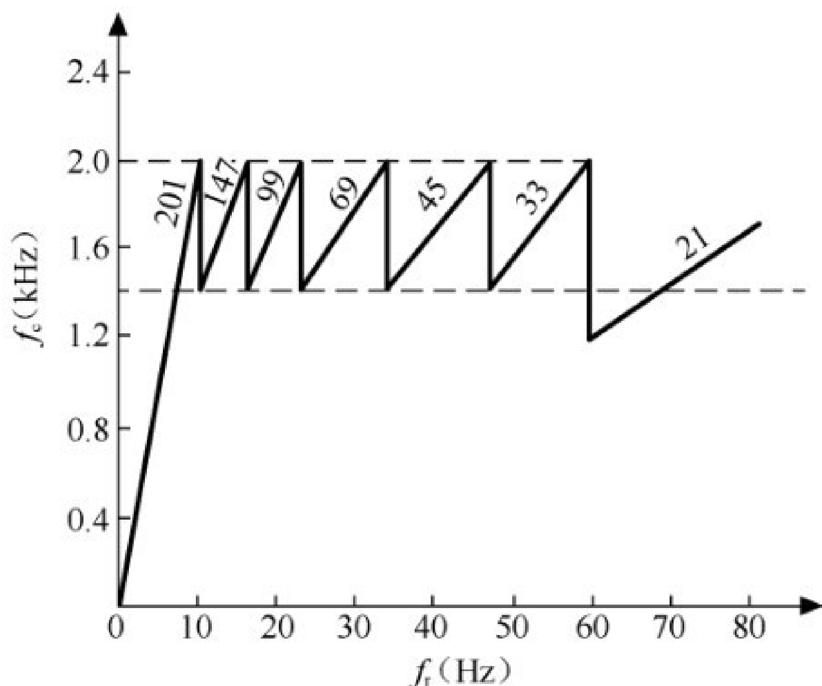


图1-9 分段同步调制方式

1.3 变频器的技术发展趋势

变频器是运动控制系统中的功率变换器，当今的运动控制系统是包含多门学科的技术领域，总的发展趋势是驱动的交流化、功率变换器的高频化以及控制的数字化、智能化和网络化。因此，变频器是运动控制系统中的重要功率变换部件，变频器能提供可控的高性能变压变频的交流电，在交流传动领域得以迅猛发展。

经过大约 30 年的研发与应用实践，随着新型电力电子器件和高性能微处理器的应用以及控制技术的发展，变频器的性能价格比越来越高，体积越来越小，而制造商仍然在不断地提高变频器的可靠性，以实现变频器的进一步小型化、轻量化、高性能化和多功能化及无公害化等领域不断的创新。衡量一台变频器性能的优劣，一要看其输出

的交流电压的谐波对负载的影响，二要看对电网的谐波污染和输入功率因数，三要看本身的能量损耗（即效率）。

1．通用变频器的新技术

① 低电磁噪声、静音化。新型通用变频器除了采用高频载波方式的正弦波SPWM调制实现静音化外，还在通用变频器输入侧加交流电抗器或有源功率因数校正电路，而在逆变电路中采取Soft-PWM控制技术等，以改善输入电流波形，降低电网谐波，在抗干扰和抑制高次谐波方面符合EMC国际标准，实现所谓的清洁电能的变换。

② 专用化。为更好地发挥变频调速控制技术的独特功能，并尽可能满足现场控制的需要，新型通用变频器派生出了许多专用机型，如风机水泵空调专用型、起重机专用型、恒压供水专用型、交流电梯专用型、纺织机械专用型、机械主轴传动专用型、电源再生专用型、中频驱动专用型、机车牵引专用型等。

③ 系统化。通用变频器除了发展单机的数字化、智能化、多功能化外，还向集成化、系统化方向发展。如西门子公司提出的集通信、设计和数据管理三者于一体的“全集成自动化（TIA）”平台概念，可以使变频器、伺服装置、控制器及通信装置等集成配置，甚至自动化和驱动系统、通信和数据管理系统都可以像驱动装置通常嵌入“全集成自动化”系统那样进行配置，目的是为用户提供最佳的系统功能。

④ 网络化。新型通用变频器可提供多种兼容的通信接口，支持多种不同的通信协议，内装 RS-485 接口，可由个人计算机向通用变频器输入运行命令和设定功能码数据等，通过选件可与现场总线通信。如西门子、VACON、富士、日立、三菱、普传、台安、东洋等品牌的通用变频器均可通过各自可提供的选件支持几种或所有类型的现场总线。

⑤ “易于使用”模式。新型通用变频器机内固化的“调试指南”会引导使用者一步一步地填写调试表格，而无须记住任何参数，充分体现了易操作性。如西门子公司的新一代MICROMASTER420/440变频器因成功地采用了一种称为“易于使用”的概念，使得在连接、安装和调试方面的操作变得非常简单。

⑥ 参数趋势图。新型通用变频器的参数趋势图可适时地显示各信号的实时运行状态，用户在调试过程中可随时监控和记录运行参数。如西门子公司的新一代 MICROMASTER 420/440变频器的高级操作板AOP，可使变频器的参数上装或下装，可以通过现场总线的USS连接调试和控制多达31台变频器驱动装置。AOP可以存储10组数据。存储在AOP中的各组数据可以直接装入其他的MICROMASTER420/440变频器中，或者通过USS装入。

⑦ 内置式应用软件。新型通用变频器可以内置多种应用软件，有的品牌可提供 130 余种应用软件，以满足现场过程控制的需要，如PID控制软件、张力控制软件、速度级联软件、速度跟随软件、电流平衡软件、变频器功能设置软件、通信软件等。变频器功能设置软件可以在Windows环境下设置变频器的功能及数据通信。

⑧ 分布式应用。现代自动化工程趋于分布式方案，这就要求智能化设备必须是模块化、分布化，并且能与现代机器设备集成。这样不仅会在生产、机械设备调试和维护方面带来成本优势，而且为设备扩展带来高灵活性。作为通用变频器应与电动机集成，或将变频器尽可能直接安装在电动机所在位置，借助COMBIMASTER411/MICROMASTER411，可将整套驱动器从开关柜直接移到机械设备处，使设备单元可使用很小的开关柜或无须使用。将变频器与电动机集成的另一优点是，开关柜内的热耗减少，因而无须采取开关柜通风措施。此外，还能更容易地遵守电磁兼容标准，因为在电动机和变频器之间无须电缆连接，就不存在要求屏蔽的问题。同时，安装成本和布线成本或者电缆敷设费用也显著降低，而且需要维护时，也可方便快捷地从电动机上取下变频器。可集成的变频器与标准电动机完全兼容，可很容易地直接安装到标准电动机的端子盒上并固定。西门子公司的新型MICROMASTER411系列就是一种可集成的通用变频器。由于MICROMASTER411系列通用变频器具有通信功能，因具有可通过功能Profibus-DP接口与自动化环境集成在一起，具有用户操作方便、连接简单等特点，并可通过RS-232串行接口实现参数化，以及采用基本操作面板（BOP）、高级操作面板（AOP）或PC用调试软件等方法

实现运行控制。

⑨ 参数自调整。用户只要设定数据组编码而不必逐项设置，通用变频器就会将运行参数自动调整到最佳状态。

⑩ 功能设置软件化。通用变频器的功能可以在 Windows环境下设置并下装，并可以进行数据通信。

2．变频器的主电路

（1）变频器主电路中的开关器件

目前低压小容量变频器普遍采用的功率开关器件是功率MOSFET、IGBT（绝缘栅双极晶体管）和 IPM（智能功率模块），中压大容量变频器采用的功率开关器件有GTO（门极可关断晶闸管）、IGCT（集成门极换流晶闸管）、SGCT（对称门极换流晶闸管）、IEGT（注入增强栅晶体管）和高压 IGBT。新型开关器件的应用使开关频率不断提高，开关损耗进一步降低。变频器主电路中开关器件的发展方向是自关断化、模块化、集成化和智能化，开关频率不断提高，开关损耗进一步降低。

（2）变频器主电路的拓扑结构

目前变频器主电路的拓扑结构为，变频器的网侧变流器对低压小容量的常采用6脉冲变流器，而对中压大容量的采用多重化12脉冲以上的变流器。负载侧变流器对低压小容量的常采用两电平的桥式逆变器，而对中压大容量的采用多电平逆变器。对于四象限运行的传动系统，为实现变频器再生能量向电网回馈而节约能量，网侧变流器应为可逆变流器。而对于功率可双向流动的双PWM变频器，对网侧变流器加以适当控制可使输入电流接近正弦波，并使系统的功率因数接近于1，减小对电网的公害。

公用直流母线技术的采用，使由多台电动机（或多轴）构成的传动系统的能量得以更好地利用，提高系统的整体运行效率，并可降低变频器本身的价格。公用直流母线也可以有再生型和非再生型。探索采用谐振直流环技术使变频器的功率开关工作在软开关状态下，器件损耗大大下降，开关频率可进一步提高，因电压和电流尖峰引起的EMI问题也得到有效抑制，可取消缓冲电路。

3．变频器的控制方式

变频器的控制方式正由标量控制（U/F控制和转差频率控制）向高动态性能的矢量控制和直接转矩控制发展。微处理器技术的进步使数字控制成为现代控制器的发展方向，数字控制使硬件简化，柔性的控制算法使控制具有很大的灵活性，可实现复杂控制，使现代控制理论在运动控制系统中的应用成为现实，易于与上层系统连接进行数据传输，便于故障诊断，加强保护和监视功能，使系统智能化（如有些变频器具有自调整功能）。随着电力电子技术、微电子技术、计算机网络技术等高新技术的发展，变频器的控制方式今后将向以下几个方面发展。

① 数字控制变频器的实现。现在，变频器用数字处理器可以实现比较复杂的运算，变频器数字化将是一个重要的发展方向。目前进行变频器数字化主要采用单片机（MCS51　　或80C196MC），辅助以SLE4520或EPLD液晶显示器等来实现更加完善的控制性能。

② 多种控制方式的结合。单一的控制方式有着各自的优缺点，并没有“万能”的控制方式，在有些控制场合需要将一些控制方式结合起来，例如将学习控制与神经网络控制相结合、自适应控制与模糊控制相结合、直接转矩控制与神经网络控制相结合，或者称之为“混合控制”。这样取长补短，控制效果将会更好。

③ 远程控制的实现。计算机网络的发展使“天涯若咫尺”，依靠计算机网络对变频器进行远程控制也是一个发展方向。通过 RS-485 接口及一些网络协议对变频器进行远程控制，这样在有些不适合于人们进行现场操作的场合，也可以很容易地实现控制目标。

④ 绿色变频器。随着可持续发展战略的提出，对于环境的保护越来越受到人们的重视。对于减轻变频器产生的高次谐波对电网带来的污染，降低变频器工作时的噪声以及提高其工作的可靠性和安全性等这些问题，可通过采取合适的控制方式来解决，以设计出绿色变频器。

4．变频器技术发展中存在的问题及对策

变频器在运行过程中，由于内部相控整流和不可控二极管整流，

输入电流的波形发生严重畸变，不但大大降低了系统的功率因数，还会引起严重的高次谐波污染。另外，在使用过程中电流和电压的急剧变化会给周围的其他电子设备造成严重的电磁干扰。为此，许多国家都已制定出限制谐波的国家标准。国际电气电子工程师协会（IEEE）、国际电工委员会（IEC）和国际大电网会议（CIGRE）纷纷推出了自己的谐波标准。我国先后于1984年和1993年制定了限制谐波的有关标准。

抑制变频器在运行中产生的谐波的方法是进行谐波补偿，即增加谐波补偿装置，使输入电流成为正弦波。传统的谐波补偿装置有 LC 调谐滤波器，它既可补偿谐波，又可补偿无功功率。其缺点是，补偿特性受电网阻抗和运行状态影响，易和系统发生并联谐振，导致谐波放大，使 LC 滤波器过载甚至烧坏。此外，它只能补偿固定频率的谐波，效果不甚理想，但该装置结构简单，目前仍在广泛应用。

电力电子器件普及应用后，采用有源电力滤波器进行谐波补偿成为主要方法，有源电力滤波器的工作原理是从补偿对象中检测出谐波电流，然后产生一个与该谐波电流大小相等、极性相反的补偿电流，从而使电网电流只含有基波分量。这种滤波器能对频率和幅值都变化的谐波进行跟踪补偿，且补偿特性不受电网阻抗的影响。它已得到人们的重视，并逐步推广应用。

随着电子技术的不断发展，使用SCR、GTO和IGBT等的静止无功补偿装置得到了长足发展。其中，静止无功发生器的效果最为显著。它具有调节速度快、运行范围宽的优点，而且在采用多重化、多电平或PWM技术等措施后，可大大地减少补偿电流中的谐波含量。更重要的是，静止无功发生器使用的电抗器和电容元件小，大大缩小了装置的体积和降低了成本，它代表着动态无功补偿装置的发展方向。

另一种抑制变频器在运行中产生的谐波的方法是改变变流器的工作机理，做到既能抑制谐波又提高功率因数，这种变流器称为单位功率因数变流器。大容量变流器减少谐波的主要方法是采用多重化技术，将多个方法叠加，以消除次数较低的谐波，从而得到接近正弦波的阶梯波。重数越多，波形越接近正弦波，但电路结构也越复杂。

变频器的电磁波干扰抑制措施就是要克服开关器件导通和关断时出现过大的电流上升率di/dt和电压上升率du/dt。目前，比较引人注目的有零电流开关（ZCS）和零电压开关（ZVS）电路。实现零电流开关（ZCS）和零电压开关（ZVS）的方法如下。

① 在开关器件上串联电感，这样可抑制开关器件导通时的di/dt，使器件上不存在电压、电流重叠区，减小了开关损耗。

② 在开关器件上并联电容，当开关器件关断后抑制du/dt上升，使器件上不存在电压、电流重叠区，减小了开关损耗。

③ 在开关器件上反向并联二极管，在二极管导通期间开关器件呈零电压零电流状态，此时驱动器件导通或关断，能实现ZVS、ZCS动作。

变频技术作为高新技术、基础技术和节能技术，已经渗透到经济领域的所有技术部门中。今后主要的研究开发项目如下。

① 由数字控制的大功率交—交变频器供电的传动设备。

② 由大功率负载换流的电流型逆变器供电的传动设备在抽水蓄能电站、大型风机和泵上的推广应用。

③ 电压型GTO逆变器在铁路机车上的推广应用。

④ 增强电压型 IGBT、IGCT 逆变器供电的传动设备的功能，改善其性能，如四象限运行，带有电动机参数自测量与自设定、电动机参数变化自动补偿以及无传感器的矢量控制、直接转矩控制等。

⑤ 风机和泵用高压电动机的节能调速研究。众所周知，风机和泵改用调速传动后可节约大量电能，特别是高压电动机容量大，节能效果更显著。研究经济合理的高压电动机调速方法是当今的一个重大课题。

⑥ 针对高压、大电流的技术。研发和创新动态、静态均压技术（6kV、10kV 回路中 3英寸晶闸管串联，静、动态均压系数大于0.9）、均流技术（大功率晶闸管并联的均流技术，均流系数大于0.85）、浪涌吸收技术（10kV、6kV回路中）、光控及电磁触发技术（电/光、光/电变换技术）、导热与散热技术（导热及散热性好、电流出力大的技术，如热管散热技术）、高压大电流系统保护技术（抗

大电流电磁力结构、绝缘设计）及等效负载模拟技术。

⑦ 新型电力电子器件的应用技术。可关断驱动技术、双 PWM 逆变技术、循环变流/电流型交—直—交（CC/CSI0）变流技术（12脉波变频技术）、同步机交流励磁变速运行技术和软开关PWM变流技术有待进一步完善和创新。

⑧ 全数字自动化控制技术。比如参数自设定技术、过程自优化技术、故障自诊断技术以及对象自辨识技术的应用和推广。

⑨ 现代控制技术。比如多变量解耦控制技术、矢量控制和直接力矩控制技术以及自适应技术的工程应用。

第2章 变频调速系统主电路设计

- 变频器的选择
- 变频器选用件的特点和应用.
- 变频调速系统的电气主接线及配套电气设备的选用

2.1 变频器的选择

通用变频器的选择包括型式选择和容量选择两个方面，其总的原则是首先保证可靠地满足工艺要求，再尽可能节省资金。要根据工艺环节、负载的具体要求选择性能价格比相对较高的品牌和类型。

2.1.1 变频器的选型

1．变频器的类型

选用变频器时一定要做详细的技术经济分析论证，对于那些负荷较大且非变工况运行的设备不宜采用变频器。变频器具有较多的品牌和类型，价格相差很大。为此，必须了解变频器的技术特性和分类方法。变频器可以从以下不同的方面进行分类。

① 按控制方式分为通用型和工程型。通用型变频器一般采用给定闭环控制方式，动态响应速度相对较慢，在电动机高速运转时可满足设备恒功率的运行特性，但在低速时难以满足恒功率要求。工程型变频器在其内部设有自动补偿、自动限制的环节，在设备低速运转时可保持较好的特性以实现闭环控制。

② 按控制功能分为普通功能型变频器、具有转矩控制高性能型变

频器和矢量控制高性能型变频器。

③ 按安装形式可分为以下 4 种，可根据受控电动机功率及现场安装条件选用合适的类型。第一种是固定式（壁挂式），功率多在37kW以下；第二种是书本型，功率为0.2～37kW，占用的空间相对较小，安装时可紧密排列；第三种是装机、装柜型，功率为45～200kW，需要附加电路及整体固定壳体，体积较为庞大，占用的空间相对较大；第四种为柜型，控制功率为45～1500kW，除具备装机、装柜型的特点外，它所占用的空间更大。

④ 从变频器的电压等级来看，有单相 AC 230V，也有三相 AC 208～230V、AC 380～460V、AC 500～575V、AC 660～690V，应根据电源条件和电动机额定电压参数作出正确的选择。

⑤ 从变频器的防护等级来看，有IP00的，也有IP54的，要根据现场环境条件做出相应的选择。

⑥ 就调速范围及精度而言，FC（频率控制）变频器的调速范围为1:25，VC（矢量控制）变频器的调速范围为1:100～1:1000，SC（伺服控制）变频器的调速范围为1:4000～1:1000，要根据系统的负载特性作出相应的选择。

变频器的类型选用是指要根据生产机械的负载特性、调速范围、静态速度精度、启动转矩的要求，决定选用哪种控制方式的变频器最合适。所谓合适是指既要好用又要经济，以满足工艺和生产的基本条件和要求。在变频器选型前应掌握传动系统的以下参数。

① 电动机的极数。一般电动机极数以不多于4极为宜，否则变频器的容量就要适当加大。

② 转矩特性、临界转矩、加速转矩。在同等电动机功率情况下，相对于高过载转矩模式，变频器规格可以降额选取。

③ 电磁兼容性。为减少主电源干扰，使用时可在中间电路或变频器输入电路中设置电抗器，或安装前置隔离变压器。一般当电动机与变频器的距离超过50m时，应在它们中间串入输出电抗器、滤波器或采用屏蔽防护电缆。

变频器的选型应满足以下条件。

① 电压等级与驱动电动机相符，变频器的额定电压与负载的额定电压相符。

② 额定电流为所驱动电动机额定电流的1.1～1.5倍，对于特殊的负载（如深水泵等），则需要参考电动机性能参数，以最大电流确定变频器电流和过载能力。由于变频器的过载能力没有电动机的过载能力强，一旦电动机过载，损坏的首先是变频器。如果机械设备选用的电动机功率大于实际的机械负载功率，并把机械功率调节到电动机输出功率，此时变频器的功率一定要等于或大于电动机功率。个别电动机的额定电流值较特殊，不在常用标准规格附近；又有的电动机的额定电压低，额定电流偏大，此时要求变频器的额定电流必须等于或大于电动机的额定电流。

③ 根据被驱动设备的负载特性选择变频器的控制方式。

变频器的选型除一般须注意的事项（如输入电源电压、频率、输出功率、负载特性等）外，还要求与相应的电动机匹配良好，要求在正常运行时，在充分发挥其节能优势的同时避免其过载运行，并尽量避开其拖动设备的低效工作区，以保证其高效可靠运行。在变频器的选型时，相同设备配用的变频器的规格应尽可能统一，便于备品备件的准备和维修管理，选用时还要考虑生产厂家售后服务质量。

2．变频调速系统的效率与损耗

（1）变频器的效率

变频器的效率是指其本身的变换效率。交—交变频器尽管效率较高，但调频范围受到限制，应用也受到限制，目前通用的变频器主要为交—直—交型，其工作原理是先把工频交流电通过整流器变换成直流电，然后用逆变器再变换成所需频率的交流电。所以，交—直—交变频器的损耗由3部分组成，整流损耗约占总损耗的40%，逆变损耗约占50%，控制回路损耗占10%。其前两项损耗是随着变频器的容量、负荷、拓扑结构的不同而变化的，而控制回路损耗不随变频器容量、负荷而变化。变频器采用大功率自关断开关器件等现代电力电子技术，其整流损耗、逆变损耗等都比采用传统电子技术时的损耗小，变频器在额定状态下运行时，其效率为86.4%～96%。变频器的效率

随着其功率的增大而得以提高。

（2）电动机的效率和损耗

变频调速后，电动机的各种损耗和效率均有所变化。根据电机学理论，电动机的损耗可分为铁芯损耗（包括磁滞损耗和涡流损耗）、轴承摩擦损耗、风阻损耗、定子绕组铜耗、转子绕组铜耗和杂散损耗等几种。

① 铁芯中的磁滞损耗的表达式为

$$P_{n} = \sigma_{n} (f/50)(B/10000)^{n} G_{C} \quad （2-1）$$

由式（2-1）可知，磁滞损耗与磁滞损耗系数σ_{n} 、铁芯中的磁通密度 B、铁芯重量G_{C} 及电源频率f有关。变频调速后，磁滞损耗的减小速度比电动机有功减小速度慢，该损耗所占比例有所提高。

② 涡流损耗的表达式为

$$P_{e} \propto af^{2} \quad （2-2）$$

③ 轴承摩擦损耗的表达式为

$$P_{z} \propto f^{1.5} \quad （2-3）$$

④ 风阻损耗的表达式为

$$P_{f} \propto f^{3} \quad （2-4）$$

⑤ 定子绕组铜耗和转子绕组铜耗的大小与电源频率f没有直接关系，但高次谐波及脉动电流增加了电动机的铜耗。

⑥ 杂散损耗及附加损耗。不论何种形式的变频器，变频后除基波外都会出现谐波，如通用的正弦波变频器（PWM），其载波频率高达几千赫至十几千赫，附加的高次谐波的转矩方向与基波转矩方向相反，另外高次谐波也会增加涡流损耗。

综上所述，变频调速后，电动机的磁滞损耗、涡流损耗、轴承摩擦损耗、定转子铜损及杂散损耗在功率中所占的比例都有所增加。有关文献指出，变频调速后电动机电流增加10%，温升增加20%。

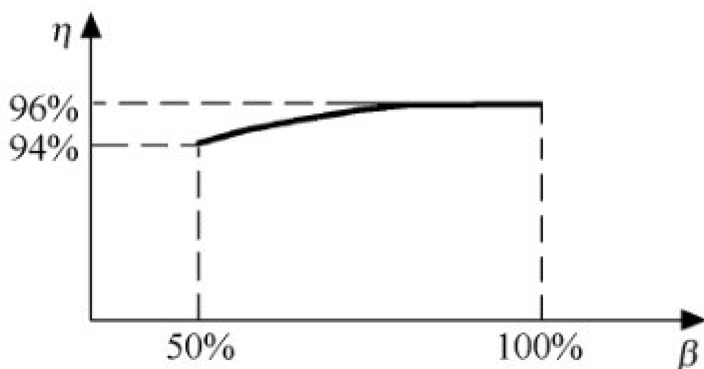


图2-1 变频器负载率 与效率 的关系曲线

变频器负载率β与效率η的关系曲线如图2-1所示。由图2-1可见，当β＝50%时，η＝94%；当β＝ 100%时，η＝96%。虽然β增大 1倍，η的变化仅为 2%，但对中、大功率变频调速系统，如几百千瓦至几兆瓦电动机而言亦是可观的。系统效率等于变频器效率与电动机效率的乘积，只有两者都处在较高的效率下工作时，系统的效率才较高。从效率角度出发，在选用变频器功率时要注意以下几点。

① 变频器功率值与电动机功率值相匹配时最合适，以使变频器在高的效率值下运行。

② 在变频器的功率分级与电动机功率分级不相同时，变频器的功率要尽可能接近电动机的功率，并应略大于电动机的功率。

③ 当电动机频繁启动、制动工作或处于重载启动且较频繁工作时，可选取大一级的变频器，以保证变频器长期安全地运行。

④ 经实际测试发现，电动机的实际功率确实有富余时，可以考虑选用功率小于电动机功率的变频器，但要注意电动机瞬时峰值电流是否会造成变频器过电流保护动作。

当变频器与电动机的功率不相同时，则必须相应调整节能程序的设置，以达到较高的节能效果。

3．变频器的选择原则

（1）负载特性

变频调速与机械变速存在本质上的区别，不能将某电动机由使用

机械变速改为相同功率的变频变速，因为功率是转矩与转速的乘积。

$$P = M\omega = (9.18m)\left(\frac{2\pi}{60}n\right) \approx 1.027mn \tag{2-5}$$

式中：M为转矩（N·m）；ω为角速度（rad/s）；n为转速（r/min）。

机械变速（例如齿转变速、皮带变速）时，若变比为K，在电动机功率不变时，忽略变速器效率，即转速下降K为原来的1/K，而转矩可增大K倍，它属于恒功率负载。

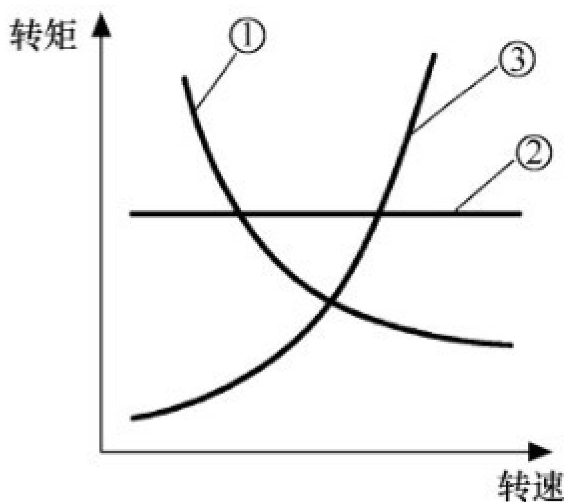


图2-2 不同负载的机械特性

而变频调速的转矩—转速曲线在低于额定频率时表现为恒转矩运行，电动机不能增大输出转矩。在高于额定频率时，转速升高，转矩下降。常见的不同负载的机械特性如图2-2所示。图2-2中的曲线③为平方律负载（例如风机、水泵），曲线②为恒转矩负载（例如传送带），这两种负载在低于额定频率运行时，负载转矩没有增加，所以，当在额定频率以下时，可以按电动机功率大小配置变频器功率。

图2-2中的曲线①是恒功率负载（例如切削机床），低速时转矩增大，而变频器和电动机低于额定频率时电流被限制，转矩不能增

大，所以在变频调速系统的低速区有可能会造成电动机带不动负载，选用时要根据减速造成转矩增大的比例，选用比原电动机功率大的电动机和变频器。例如原来1.5kW的电动机，负载转矩为9.18N·m，转速为1460r/min，机械变速后转速降到 720r/min，转矩就可达18.36N·m，而与之配套的电动机和变频器不可能输出18.36N·m 的转矩。因此，机械变速后电动机和变频器需增加的功率是：$P = M\omega = 18.36\times\left(\frac{2\pi}{60}\times720\right)\approx$ 1383.6（W）选用标准功率为3.7kW或4kW的电动机和变频器才能保证在低速区时输出要求的转矩。

在我国将工频50Hz 以下的区间作为变频器的“恒转矩区”，即频率和转速成比例下降时，电动机为恒转矩特性；在50Hz以上的区间为“恒功率区”，即频率和转速越高，电动机转矩越小。变频器的输出频率和拖动电动机的转速成正比，其输入的功率（机械功率）为转速乘以转矩。为此，选择变频器时应根据以下原则。

① 电动机功率在280kW以上时应选择电流型变频器（多重化波形），75kW以下的电动机应选择电压型变频器（PWM波型），75～280kW的电动机可根据实际情况决定。

② 根据拖动设备的特性选择。机床类设备需要尽可能满足恒功率的硬特性，可选用专用电动机并配足变频器功率，尽可能选用矢量型变频器，并要求变频器带有制动电阻单元。风机、水泵等减力矩负载要选用专用型变频器，便于节能运行。对于只需恒转矩的传动系统，选用通用型、矢量型或U/F型变频器均可。

变频器的正确选用对于机械设备及系统的正常运行是至关重要的，选择变频器时首先要满足机械设备的类型、负载转矩特性、调速范围、静态速度精度、启动转矩和使用环境的要求，然后决定选用何种控制方式和防护结构的变频器最合适。所谓合适是指在满足机械设备的实际生产工艺要求和使用场合的前提下，实现变频器应用的最大性能价格比。在实践中常根据负载转矩特性的不同，将生产机械分为三大类型。

① 恒转矩负载。在恒转矩负载中，负载转矩 T_L 与

转速 n 无关，任何转速下T_L 总保持恒定或基本恒定，负载功率则随着负载速度的升高而线性增大。多数负载具有恒转矩特性，但在转速精度及动态性能等方面一般要求不高，例如挤压机、搅拌机、传送带、厂内运输电车、吊车的平移机构、吊车的提升机构和提升机等。选型时可选U/F控制方式的变频器，最好采用具有恒转矩控制功能的变频器。起重机类负载的特点是启动时冲击很大，因此要求变频器有一定余量。同时，在重物下放时会有能量回馈，因此要使用制动单元或采用共用母线方式。

变频器拖动具有恒转矩特性的负载时，低速时的输出转矩要足够大，并且要有足够的过载能力。如果需要在低速下稳速运行，应该考虑标准异步电动机的散热能力，避免电动机的温升过高。而对于不均性负载（其特性是负载有时轻有时重），应按照重负载的情况来选择变频器容量，例如轧钢机械、粉碎机械、搅拌机等。

大惯性负载（如离心机、冲床、水泥厂的旋转窑）的惯性很大，启动时可能会振荡，电动机减速时有能量回馈，应该选用容量稍大的变频器来加快启动和避免振荡，并需配有制动单元消除回馈电能。

对于长期低速动转的系统，由于电动机发热量较多，风扇冷却能力降低，因此，必须采用加大减速比的方式或改用 6 级电动机，使电动机运转在较高频率附近。对于低速运行时要求有较硬的机械特性和一定的调速精度，而对动态性能方面无较高要求的系统，可选用具有转矩控制功能的高功能型变频器，以实现恒转矩负载的调速运行。另外，对于恒转矩负载下的驱动电动机，如果采用通用标准电动机，则应考虑低速下电动机的强迫通风冷却，以避免电动机在低速运行时发热。

② 恒功率负载。恒功率负载的特点是需求转矩T_L 与转速n大体成反比，但其乘积（即功率）却近似保持不变。金属切削机床的主轴和轧机、造纸机、薄膜生产线中的卷取机、开卷机等都属于恒功率负载。

负载的恒功率性质是针对一定的速度变化范围而言的，当速度很低时，受机械强度的限制， T_L 不可能无限增大，在低速

下转变为恒转矩性质。负载的恒功率区和恒转矩区对传动方案的选择有很大的影响。电动机在恒磁通调速时，最大允许输出转矩不变，属于恒转矩调速；而在弱磁调速时，最大允许输出转矩与速度成反比，属于恒功率调速。如果电动机的恒转矩和恒功率调速的范围与负载的恒转矩和恒功率范围相一致，即所谓“匹配”的情况，则电动机的容量和变频器的容量均最小。

③ 流体类负载。在各种风机、水泵、油泵中，随叶轮的转动，空气或液体在一定的速度范围内所产生的阻力大致与速度的2次方成正比。随着转速的减小，转矩按转速的2次方减小。这种负载所需的功率与速度的3次方成正比。由于流体类负载在高速时的需求功率增长过快，与负载转速的3次方成正比，所以不应使这类负载超工频运行。

流体类负载在过载能力方面的要求较低，由于负载转矩与速度的平方成反比，所以低速运行时负载较轻（罗茨风机除外）。又因为这类负载对转速精度没有什么要求，故选型时通常以价格为主要考虑因素，应选择普通功能型变频器，只要变频器容量等于电动机容量即可（空压机、深水泵、泥沙泵、快速变化的音乐喷泉需加大容量），目前已有为此类负载配套的专用变频器可供选用。

（2）系统特性

① 快速响应系统。所谓响应快是指实际转速对于转速指令的变化跟踪得快，从负载变动和外界干扰引起的过渡性速度变化中恢复得快。要求响应快的典型负载有轧钢机、生产线设备、机床主轴、六角孔冲床等。针对快速响应系统最好选用转差频率控制的变频器。

② 被控对象的动态、静态指标要求。变频调速系统在低速时应有较硬的机械特性，才能满足生产工艺对控制系统的动态、静态指标要求，如果控制系统采用开环控制，可选用具有无速度反馈的矢量控制功能的变频器。

对于调速精度和动态性能指标都有较高要求以及要求高精度同步运行的系统，如轧钢机械、造纸机械、塑料薄膜加工线这一类负载，可选用带速度反馈的矢量控制方式的变频器。如果控制系统采用闭环

控制，可选用能够四象限运行的、U/F控制方式的、具有恒转矩功能的变频器。对于电力机车、交流伺服系统、电梯、起重机等负载，可选用具有直接转矩控制功能的专用变频器。

综上所述，在选用变频器时除了考虑技术性和可靠性外还应考虑经济性，一般不要留有太大的功率余量，变频器与电动机两者的功率应相匹配，这样不但经济性好，而且输出波形更好。表2-1给出了常见的几类设备的负载特性和负载转矩特性，可供变频器选型时参考。

表2-1 几类常见设备的负载特性和负载转矩特性

应用	负载特性					负载转矩特性			
流体	风机、泵类	摩擦性负载	重力负载	流体负载	惯性负载	恒转矩	恒功率	降转矩	降功率
	压缩机			•				•	
金属加工机床	齿轮泵			•		•			
	压榨机					•			
	卷板机、拔丝机	•			•	•			
	离心铸造机					•			
	机械化供应装置	•			•				
	自动车床	•				•			
	转塔车床	•							•
	车床及加工中心					•			
	磨床、钻床						•		
	刨床	•				•			•
电梯	电梯高低速、自动停车装置	•					•		
	电梯门		•			•			
输送	传送带	•				•			
	门式提升机	•				•			
	起重机、升降机升降		•			•			
	起重机、升降机平移		•			•		•	
	泥浆输送机	•				•			
	运载机				•	•			
	自动仓库上下		•			•			
	造料器、自动仓库输送	•				•			
普通	搅拌器			•		•			
	农用机械、挤压机					•			
	分离机、离心分离机				•				
	印刷机、食品加工机械					•			
	商业清洗机				•				•
	吹风机						•		
	木材加工机	•				•			•

4．变频器选择注意事项

在选择变频器时应注意以下事项。

① 选择变频器时应以实际电动机电流值作为选择变频器的依据，电动机的额定功率只能作为参考。另外，应充分考虑变频器的输出中含有高次谐波，会造成电动机的功率因数和效率变差。采用变频器给电动机供电与用工频电网供电相比较，电动机的电流增加10%而温升增加约20%，所以在选择电动机和变频器时，应考虑到这种情况，适

当留有余量，以防止温升过高而影响电动机的使用寿命。

② 变频器与电动机之间若为长电缆连接时，应该采取措施抑制长电缆对地耦合电容的影响，避免变频器出力不够。对此，可将变频器容量放大一挡或在变频器的输出端安装输出电抗器。

③ 当变频器用于控制并联的几台电动机时，一定要考虑变频器到电动机的电缆的长度在变频器的容许范围内。如果超过规定值，要放大一挡或两挡来选择变频器。另外，在此种情况下，变频器的控制方式只能为U/F控制方式，并且变频器无法保护电动机的过电流、过载，此时需在每台电动机回路上设置过电流、过载保护装置。

④ 对于一些特殊的应用场合，如高环境温度、高开关频率、高海拔高度等，此时会引起变频器降容，变频器需放大一挡选择。若环境温度长期较高，而将变频器安装在通风冷却不良的机柜内时，会造成变频器寿命缩短（电子元器件特别是电解电容等在高于额定温度后，温度每升高 10℃寿命会缩短一半），除设置完善的通风冷却系统以保证变频器正常运行外，在选用上增大一级变频器容量，使其在额定运行时温升有所下降。

⑤ 使用变频器控制高速电动机时，由于高速电动机的电抗小，高次谐波增加了输出电流值，因此，选择用于高速电动机的变频器时，应比为普通电动机选择的变频器大一级。

⑥ 变频器用于变极电动机时，应使其最大额定电流在变频器的额定输出电流以下。对于变频调速的多速电动机，在运行中不能改变极对数。如果在变频器运行中改变电动机的绕组接线，就会引起很大的冲击电流，造成变频器过载跳闸甚至烧毁的严重事故。所以，要安全切换多速电动机的绕组，必须在变频器停止输出后才能进行。

⑦ 选择变频器时，一定要注意其防护等级是否与现场情况相匹配，否则现场的灰尘、水汽会影响变频器的长久安全稳定运行。驱动防爆电动机时，因变频器没有防爆类型，应将变频器设置在危险场所之外。

⑧ 使用变频器驱动齿轮减速电动机时，使用范围受到齿轮转动部分润滑方式的制约。润滑油润滑时，在低速范围内没有限制，而在超

过额定转速以上的高速范围内，齿轮减速机构有可能发生故障。因此，不要超过齿轮减速机构的最高转速容许值。

⑨ 用变频器驱动绕线转子异步电动机时，由于与普通的笼型电动机相比，绕线电动机绕组的阻抗小，因此，容易出现由于纹波电流而引起的过电流跳闸现象，所以应选择比通用容量大一级的变频器。一般绕线电动机多用于飞轮力矩较大的场合，应用中应结合实际工况设定加减速时间。

⑩ 在可以使用单相电源的情况下，小型三相电动机可选择“单相220V电源进线三相输出”的变频器，电动机可由原三相380V。Y接法改为△接法，功率与原使用状态相同，这样选用更为经济。

⑪ 用变频器驱动同步电动机时，与工频电源相比，降低输出容量10%~20%，变频器的连续输出电流要大于同步电动机额定电流与同步牵入电流标么值的乘积。对于同步电动机负载，选择变频器的依据是电流、电压而不是功率。

⑫ 对于压缩机、振动机等转矩波动大的负载和油压泵等有峰值负载的机械设备，如果按照电动机的额定电流或功率值选择变频器，有可能因峰值电流而出现过电流保护现象。因此，应了解工频运行情况，选择比其最大电流更大的变频器。用变频器驱动潜水泵电动机时，因为潜水泵电动机的额定电流比通用电动机的额定电流大，所以选择变频器时，其额定电流要大于潜水泵电动机的额定电流。

⑬ 当用变频器驱动罗茨风机时，由于其启动电流很大，所以选择变频器时一定要注意变频器的容量是否足够大。

⑭ 单相电动机不适合用变频器驱动。

⑮电网电压不正常将危及变频器的安全运行，如380V的线电压上升到450V就会造成变频器损坏，因此对于电网电压超过使用手册规定范围的场合，要使用变压器进行调整，以确保变频器的安全。

⑯ 高海拔地区因空气密度降低，散热器不能达到额定效果。一般在海拔 1000m 以上，海拔每升高100m容量下降10%，必要时可加大一级变频器容量，以免变频器过热。

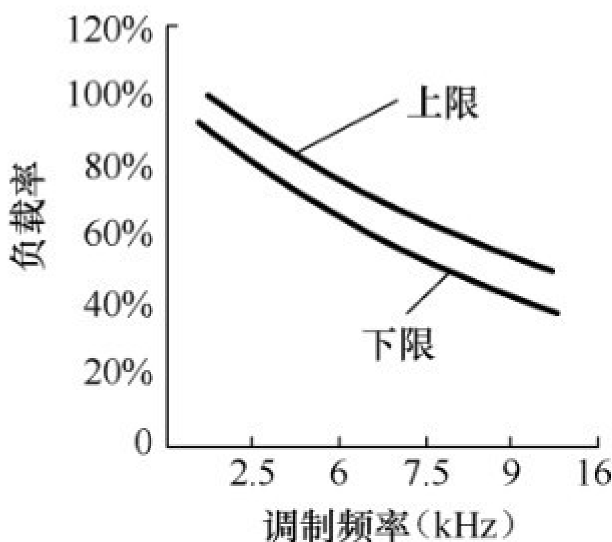


图2-3 减载曲线

⑰ 当变频器为降低电动机噪声而将调制频率重新设置得较高并超过出厂设置频率时，会造成变频器损耗增大。设置的频率越高，损耗越大，因此要适当减载。不同调制频率和负载率时的相应减载曲线如图2-3所示，不同品牌、不同系列变频器的减载曲线会有差别，但趋势是相似的。

⑱ 用一台变频器驱动多台电动机时，变频器的容量应比多台电动机容量之和大，并且只能选择U/F控制模式，不能用矢量控制模式。因矢量控制模式只能对应一台变频器驱动一台电动机，而且变频器的额定电流应等于或大于电动机的额定电流，电动机的实际使用电流不能比额定电流小太多（不低于变频器额定电流的1/8）。为了正确地使用矢量控制，在驱动前变频器还需对电动机的冷态参数进行输入或自动识别。

⑲ 当多台变频器的逆变单元共用一个整流、回馈单元，即采用公共直流母线方式时，有利于多台逆变器制动能量的储存和利用，此时整流、回馈单元的容量要足够大，并要设有防止小功率变频器整流桥过载损坏的措施，使用中对多台电动机不能同时制动。

2.1.2 变频器容量的选取

1．变频器的容量

变频器的容量可从3个角度表述：额定电流、可用电动机功率和额定容量。其中后两项由变频器生产厂家根据本国或本公司生产的标准电动机给出，或随变频器输出电压而降低，都很难确切表达变频器的能力。不管哪一种表示方法归根到底还是对变频器额定电流的选择，应结合实际情况根据电动机有可能向变频器吸收的电流来决定。

选择变频器时，只有变频器的额定电流是一个反映半导体变频装置负载能力的关键量。负载电流不超过变频器额定电流是选择变频器容量的基本原则。在确定变频器容量前应详细了解生产设备的情况及电动机的参数，例如潜水泵、绕线转子电动机的额定电流要大于普通笼型异步电动机的额定电流。冶金工业常用的辊道电动机不仅额定电流大，同时它允许短时处于堵转工作状态，且辊道传动大多是多电动机传动，应保证在无故障状态下负载总电流均不超过变频器的额定电流。通用变频器的过载能力有以下两种。

① 1.2倍的额定电流，可持续1min。

② 1.5倍的额定电流，可持续1min，而且变频器的允许电流与过载时间呈反时限关系。如1.2（1.5）倍的额定电流可持续1min，而1.8（2.0）倍的额定电流可持续0.5min。

这就意味着不论任何时候变频器向电动机提供的电流在1min（或0.5min）时间内都被限制在允许范围内。过载能力这个指标对电动机来说，只有在启动（加速）过程中才有意义，在运行过程中实际上等同于不允许过载。

变频器的额定功率指的是它适用的4极交流异步电动机的功率，对于同容量电动机，其极数不同时，电动机的额定电流也不同。随着电动机极数的增多，电动机的额定电流增大。变频器的容量选择不能以电动机的额定功率为依据。同时，对于原来未采用变频器的改造项目，变频器的容量选择也不能以电动机的额定电流为依据。因为选择电动机的容量时要考虑最大负荷、富余系数、电动机规格等因素，往

往电动机的容量富余量较大，工业用电动机常常在 50%～60%额定负荷下运行。若以电动机额定电流为依据来选择变频器的容量，留有的富余量太大时会造成经济上的浪费，而可靠性并没有因此得到提高。

变频器与电动机的匹配主要还是考虑电动机的额定电压及额定电流，如果电动机的额定电流小于同功率变频器的额定电流，一般来说用同等功率的就足够了；如果电动机的额定电流大于同功率变频器的额定电流，只好用大一级的变频器。另外，如果负载较重且启动频繁，要考虑变频器容量放大一级。如用于高原地区或电动机接线太长，要考虑变频器的输出能力可能也要放大一级，并要采取相应的措施。

对于异步电动机，变频器的容量选择应以变频器的额定电流大于或等于电动机的最大正常工作电流的 1.1 倍为原则，这样可以最大限度地节约资金。对于重载启动、高温环境、绕线式异步电动机、同步电动机等，变频调速器的容量应适当加大。

2．合理选择变频器容量的方法

变频器容量的选择是一个重要且复杂的问题，要考虑变频器容量与电动机容量的匹配，容量偏小会影响电动机有效转矩的输出，影响系统的正常运行，甚至损坏装置；而容量偏大时电流的谐波分量会增大，也增加了设备投资。变频器容量的选择可分以下3步进行。

① 了解负载性质和变化规律，计算出负载电流的大小或做出负载电流图。

② 预选变频器容量。

③ 校验预选变频器。必要时进行过载能力和启动能力的校验，若都通过，则预选的变频器容量便选定了；否则从步骤②开始重新进行，直到通过为止。

在满足生产机械要求的前提下，变频器的容量越小越经济。在选型前，首先要根据机械对转速（最高、最低）和转矩（启动、连续及过载）的要求，确定机械要求的最大输入功率（即电动机额定功率的最小值）。

$$P = nT/9950 \qquad (2\text{-}6)$$

式中：P为机械要求的输入功率（kW）；n为机械的转速（r/min）；T为机械的最大转矩（N·m）。

然后，选择电动机的极数和额定功率。电动机的极数决定了同步转速，要求电动机的同步转速尽可能地覆盖整个调速范围，使连续负载容量大一些。为了充分利用设备潜能，避免浪费，可允许电动机短时超出同步转速，但必须小于电动机允许的最高转速。转矩应取设备在启动、连续运行、过载或最高速等状态下的最大转矩。最后，根据变频器的输出功率和额定电流稍大于电动机的功率和额定电流确定变频器的参数与型号。需要注意的是，变频器的额定容量及参数是针对一定的海拔高度和环境温度而标出的，一般指海拔1000m以下，温度在40℃或25℃以下。若使用环境条件超出该规定，在变频器参数、型号确定前要考虑由此造成的降容因素。合理选择变频器容量本身就是一种节能降耗措施。根据现有资料和经验，比较简便的方法有以下3种。

① 电动机实际功率确定法。首先测定电动机的实际功率，以此来选用变频器的容量。

② 公式法。设定安全系数，通常取1.05，则变频器的容量P_b为

P_b ＝1.05P_m /(P_W ×cosφ)

（2-7）

式中：P_m 为电动机负载；P_W 为电动机功率；cos□为电动机功率因数。

计算出 P_b 后，按变频器产品目录选择具体规格。当一台变频器用于多台电动机时，应至少要考虑一台最大电动机启动电流的影响，以避免变频器过电流保护动作。

③ 电动机额定电流法。变频器的容量选定过程实际上是一个变频器与电动机的最佳匹配过程，最常见也较安全的方法是使变频器的容量大于或等于电动机的额定功率，但实际匹配中要考虑电动机的实际功率与额定功率相差多少，通常都是设备所选能力偏大，而实际需要的能力小，因此按电动机的实际功率选择变频器是合理的，避免选用

的变频器容量过大而使投资增大。对于轻负载类设备，变频器的额定电流一般应按 1.1I_N （I_N 为电动机额定电流）来选择，或按厂家在产品中标明的与变频器的输出功率额定值相配套的最大电动机功率来选择。

（1）连续运转时所需的变频器容量的计算

由于变频器输送给电动机的是脉冲电流，其脉动值比工频供电时的电流要大，因此须将变频器的容量留有适当的余量。此时，变频器应同时满足以下3个条件。

$$P_{CN} \geqslant \frac{KP_M}{\eta \cos\varphi}$$

$$I_{CN} \geqslant KI_M \qquad (2\text{-}8)$$

$$P_{CN} > \sqrt{3}KU_M I_M$$

式中：P_M 为电动机输出功率；η为效率（取0.85）；cossφ为功率因数（取 0.75）；U_M 为电压（V），I_M 为电流（A）；K为电流波形的修正系数（对于PWM方式取 1.05～1.1）；P_{CN} 为变频器的额定容量（kV·A）；I_{CN} 为变频器的额定电流（A）。

电动机由低频低压启动或由软启动器启动，变频器只用来完成变频调速时，要求变频器的额定电流稍大于电动机的额定电流即可。

I_{FN} ≥1.1I_{MN} （2-9）

式中：I_{FN} 为变频器的额定电流，I_{MN} 为电动机的额定电流。

电动机在额定电压、额定频率下直接启动时，对三相电动机而言，由电动机的额定数据可知，启动电流是额定电流的5～7倍，可用下式来计算变频器的频定电流。

I_{FN} ≥I_{Mst} /K_{Fg}

（2-10）

式中：I_{Mst} 为电动机在额定电压、额定频率时的启动

电流；K_{Fg} 为变频器的过载倍数。

（2）加减速时变频器容量的选择

变频器的最大输出转矩是由变频器的最大输出电流决定的，一般情况下，对于短时的加减速而言，变频器允许达到额定输出电流的130%～150%（视变频器容量而定），因此，在短时加减速时的输出转矩也可以增大；反之，如只需要较小的加减速转矩，也可降低选择变频器的容量。由于电流的脉动原因，此时应将变频器的最大输出电流降低10%后再进行选定。

（3）频繁加减速运转时变频器容量的选择

很多情况下电动机的负载具有周期性变化的特点，在此情况下按最小负载选择变频器的容量时将出现过载，而按最大负载选择将是不经济的。由此推知，变频器的容量可在最大负载与最小负载之间进行适当选择，以便变频器得到充分利用而又不过载。

首先做出电动机负载电流图，然后求出平均负载电流 I_{av} ，最后预选变频器的容量。I_{av} 的计算的公式如下。

I_{av} =(I₁ t₁ +I₂ t₂ +…+I_j t_j + …I_n t_n)÷(t₁ +t₂ + … +t_j + …t_n) （2-11）

式中，I_j 为第j段运行状态下的平均电流；t_j 为第j段运行状态对应的时间。

考虑到过渡过程中电动机从变频器中吸收的电流要比稳定运行时大，而上述 I_{av} 没有反映过渡过程中的情况，因此，变频器的容量按I_{FN} ≥1.1I_{av} 修正后预选。若过渡过程在整个工作过程中占较大比重，则系数（1.1～1.2）选偏大的值。

非周期性变化负载连续运行时，一般难以做出负载电流图，可按电动机在输出最大转矩时的电流计算变频器的额定电流。

I_{FN} ≥I_{M(max)} /K_{Fg} （2-12）

式中：$I_{M(max)}$ 为电动机输出最大转矩时的电流。

也可根据加速、恒速、减速等各种运行状态下的电流值 I_{1CN} 选择变频器的额定电流，I_{1CN} 的计算的公式如下。

$$I_{1CN}=[(I_{1}t_{1}+I_{2}t_{2}+\ldots+I_{n}t_{n})/(t_{1}+t_{2}+\ldots t_{n})]K_{0} \quad (2\text{-}13)$$

式中：I_{1CN} 为变频器的额定输出电流（A）；I_{1}、I_{2}……I_{n} 为各运行状态平均电流（A）；t_{1}、t_{2}……t_{n} 为各运行状态下的时间；K_{0} 为安全系数（运行频繁时取1.2，其他条件下为1.1）。

在计算出负载电流后，还应考虑3个方面的因素。

① 用变频器供电时，电动机电流工频供电时要大些。

② 电动机的启动要求，即是低频低压启动还是额定电压、额定频率直接启动。

③ 变频器使用说明书中的相关数据是用该生产厂家的标准电动机测试出来的。要注意按常规设计生产的电动机在性能上可能有一定差异，故计算变频器的容量时要留适当余量。

在电动机启动（加速）的过程中电动机不仅要负担稳速运行的负载转矩，还要负担加速转矩，如果生产机械对启动（加速）时间无特殊要求，可适当延长启动（加速）时间来避让峰值电流。若生产机械对启动（加速）时间有一定要求，就要慎重考虑。

如前所述，变频器的允许电流与过程时间成反时限关系。如果电动机启动（加速）时，其电流小于变频器的过载能力，则预选容量通过；如果电动机启动（加速）时，其电流已达到变频器的过载能力，而要求的加速时间又与变频器过载能力规定的时限发生冲突，这时变频器的容量应在预选容量的基础上增容。

（4）一台变频器驱动多台电动机且多台电动机并联运行时变频器容量的选择

用一台变频器驱动多台电动机并联运转时，对于一小部分电动机开始启动后再追加投入其他电动机启动的场合，变频器的电压、频率已经上升，追加投入的电动机将产生大的启动电流，因此，变频器容量与同时启动时相比需要大一些。以变频器短时过载能力为 150%、1min为例计算变频器的容量，此时若电动机加速时间在1min内，则应满足以下两式。

$$P_{CN} \geqslant \frac{2}{3} P_{CN1} \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \qquad (2\text{-}14)$$

$$P_{CN} \geqslant \frac{2}{3} n_T I_M \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \qquad (2\text{-}15)$$

若电动机加速过程在1min以上，则应满足以下两式。

$$P_{CN} \geqslant P_{CN1} \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \qquad (2\text{-}16)$$

$$P_{CN} \geqslant n_T I_M \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \qquad (2\text{-}17)$$

式中：n_T 为并联电动机的台数；n_S 为同时启动的台数；P_{CN1} 为连续容量（kV·A），有P_{CN1} ＝KP_M n_T /ηcosφ；P_M 为电动机输出功率；η为电动机的效率（约取0.85）；cosφ为电动机的功率因数（常取 0.75）；K_S 为电动机启动电流与额定电流之比；I_M 为电动机额定电流；K为电流波形修正系数（PWM方式取1.05～1.10）；P_{CN} 为变频器的容量（kV·A）。

用变频器驱动多台电动机，但其中可能有一台电动机随时投入运行或退出运行，此时变频器的额定输出电流可按下式计算。

$$I_{1CN} \geqslant K\sum_{i-1}^{J} I_{MN} + 0.9 I_{MQ} \quad (2\text{-}18)$$

式中：I_{1CN} 为变频器的额定输出电流（A）；I_{MN} 为电动机的额定输入电流（A）；I_{MQ} 为启动电流最大的一台电动机的启动电流（A）；K为安全系数，一般取1.05～1.10；J为余下的电动机台数。

一台变频器同时供多台电动机使用时，除了要考虑一拖一的几种情形外，还可以根据以下两种情况区别对待。

① 各台电动机均为低频低压启动，在正常运行后不要求其中某台因故障停机的电动机重新直接启动，这时变频器容量可按下式计算。

$$I_{FN} \geq I_{Mst(max)} + \Sigma I_{MN} \quad (2\text{-}19)$$

式中：ΣI_{MN} 为其余各台电动机的额定电流之和；$I_{Mst(max)}$ 为启动电流最大的一台电动机的启动电流。

② 一部分电动机直接启动，另一部分电动机低频低压启动。除了使电动机运行的总电流不超过变频器的额定输出电流之外，还要考虑所有直接启动的电动机的启动电流，即

$$I_{FN} \geq (\Sigma I_{Mst} + \Sigma I_{MN})/K_{Fg} \quad (2\text{-}20)$$

式中：ΣI_{Mst} 为所有直接启动的电动机在额定电压、额定频率下的启动电流总和；ΣI_{MN} 为全部电动机额定电流的总和。

（5）电动机直接启动时所需变频器容量的计算

通常，三相异步电动机直接工频启动时的启动电流为其额定电流的 5～7 倍，对于功率小于10kW的电动机，直接启动时可按下式选取变频器。

I_{1CN} ≥I_K /K_g

（2-21）

式中：I_K 为在额定电压、额定频率下电动机启动时的堵转电流（A）；K_g 为变频器的允许过载倍数，取1.3～1.5。

（6）大惯性负载启动时变频器容量的计算

变频器的过载容量通常为125%（1min）或 150%（1min），需要超过此过载容量时，必须增大变频器的容量。在这种情况下，一般按下式计算变频器的容量。

$$P_{CN} \geqslant \frac{K n_M}{9550 \eta \cos\varphi}\left(T_L + \frac{GD^2}{375} \times \frac{n_M}{t_A}\right) \tag{2-22}$$

式中：GD² 为换算到电动机轴上的转动惯量值（N·m² ）；T_L 为负载转矩（N·m）；η为电动机的效率（取0.85）；cosφ为功率因数（取0.75）；n_M 为额定转速（r/min）；t_A 为电动机加速时间（s），由负载要求确定；K为电流波形修正系数（PWM方式取1.05～1.10）；P_{CN} 为变频器的额定容量（kV·A）。

（7）轻载电动机变频器的选择

电动机的实际负载比电动机的额定输出功率小时，多认为可选择与实际负载相称的变频器容量，但是对于通用变频器，即使实际负载小，选用比电动机额定功率小的变频器并不理想，这主要是由于以下原因。

① 电动机在空载时也流过额定电流30%～50%的励磁电流。

② 启动时流过的启动电流与电动机施加的电压、频率相对应，而与负载转矩无关，如果变频器容量小，此电流超过过电流容量，则往往不能启动。

③ 电动机容量大，则以变频器容量为基准的电动机漏抗百分比变小，变频器输出电流的脉动增大，因而过电流保护容易动作，往往不能正常运转。

④ 电动机用通用变频器启动时，其启动转矩同用工频电源启动相比多数变小，根据负载的启动转矩特性，有时不能启动。另外，在低速运转区的转矩有比额定转矩减小的倾向，若用选定的变频器不能满足负载所要求的启动转矩和低速区转矩，变频器的容量还需要再加大。

3．变频器箱体结构的选用

变频器的箱体结构要与环境条件相适应，即必须考虑温度、湿度、粉尘、酸碱度、腐蚀性气体等因素，这些因素与能否长期安全可靠运行有很大关系。变频器箱体有下列几种结构类型可供设计中选用。

① 敞开型 IP00：本身无机箱，它从正面保护人体不能触摸到变频器内部的带电部分，适合装在电控箱内或室内的屏、盘、架上，尤其是多台变频器集中使用时，选用这种形式较好，但对环境条件的要求较高。

② 封闭型 IP20、IP21：这种防护结构的变频器四周都有外罩，可在建筑物内的墙上以壁挂方式安装，它适用于大多数的室内安装环境，可用于有少量粉尘或少许温度、湿度变化的场合。

③ 密封型IP40、IP42、IP45、IP55：具有防尘、防水的防护结构，适用于工业现场环境条件差，有水淋、粉尘及一定腐蚀性气体的场合。

④ 密闭型IP65：适用于环境条件差，有水淋、粉尘及一定腐蚀性气体的场合。

2.2 变频器选用件的特点和应用

2.2.1 变频调速系统的制动选件

1．变频调速系统的运行状态

不少的生产机械在运行过程中需要快速地减速或停车，而有些设备在生产中要求若干台设备保持一定的转速差或者拉伸率，这时就会产生发电制动的问题，使电动机运行在第二或第四象限。而对于变频器，如果输出频率降低，电动机转速将跟随频率同样降低，这时会产生制动过程，由制动产生的再生能量将返回到变频器直流单元中，这些功率可以用电阻发热消耗掉或反馈回电网。为了改善变频系统的制动性能，不能依靠增加变频器的容量来解决再生能量问题。需要选用

制动电阻、制动单元或功率再生变换器等选件来改善变频器的制动能力。在变频调速系统减速期间，产生的再生能量如果不通过热消耗的方法消耗掉，而是把能量返回到变频器电源侧的方法叫做“再生能量回馈法”。在实际应用中实现“再生能量回馈”需要“能量回馈单元”选件。

然而在实际应用中，由于大多通用变频器都采用电压源的控制方式，其中间直流环节有大电容器钳制着直流电压，使之不能迅速反向，另外变频器整流回路通常采用不可控整流桥，不能使电流反向，因此要实现回馈制动和四象限运行就比较困难。

图2-4所示为变频器调速系统的两种运行状态，即电动和发电状态。在变频调速系统中，电动机的降速和停机是通过逐渐降低频率来实现的。在频率降低的瞬间，电动机的同步转速随之下降，而由于机械惯性的原因，电动机转子的转速未变。当同步转速ω_1小于转子转速ω时，转子电流的相位几乎改变了180°，电动机从电动状态转变为发电状态。与此同时，电动机轴上的转矩变成了制动转矩T_e，使电动机的转速迅速降低，电动机处于再生制动状态。电动机再生的电能经逆变单元中的续流二极管全波整流后反馈回直流电路。由于直流电路的电能无法通过整流桥回馈到电网，仅靠变频器本身的电容器吸收，虽然其他部分能消耗电能，但电容器仍有短时间的电荷堆积，形成“泵升电压”，使直流电压U_d升高。过高的直流电压将使各部分器件受到损害。因此，当负载处于发电制动状态时必须采取必要的措施处理这部分再生能量。通用电压型变频器只能运行于一、三象限，即电动状态，因此在以下应用场合必须考虑配套使用制动方式。

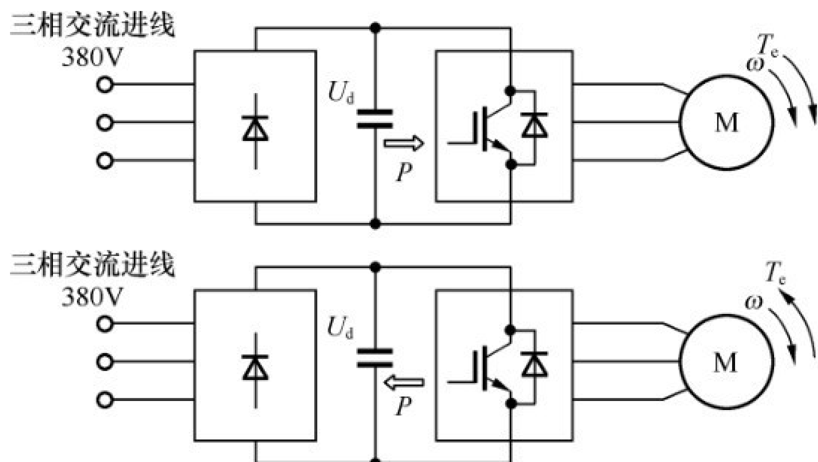


图2-4 变频器调速系统的两种运行状态

① 电动机拖动大惯量负载（如离心机、龙门刨、巷道车、行车的大小车等）并要求急剧减速或停车。

② 电动机拖动位能负载（如电梯、起重机、矿井提升机等）。

③ 电动机经常处于被拖动状态（如离心机副机、造纸机中的导纸辊电动机、化纤机械牵伸机等）。

以上几类负载的共同特点是要求电动机不仅运行于电动状态（一、三象限），而且要运行于发电制动状态（二、四象限）。为使系统在发电制动状态下能正常工作，必须采取适当的制动方式。

2．共用直流母线系统方案

在同一个电力拖动系统中的一个或多个传动单元有时会把从电动机端发电得到的能量反馈到变频器中来，这种现象叫“再生能量”。这种情况一般发生在电动机被机械设备惯性拖动的时候（也就是被一个远远高于设定值的速度拖动的时候），或者是当驱动电动机发生制动以提供足够的张力的时候（如放卷系统中的传动电动机）。

通用变频器在设计上不具有将再生能量反馈到三相电源的功能，因此，所有变频器从电动机中吸收的能量都会保存在电容中，最终导致变频器中的直流母线电压升高。如果配备制动单元和制动电阻，变频器就可以通过短时间接通电阻，使电能以热方式消耗掉。当然只要

充分考虑到制动时最大的电流容量、负载周期和消耗到制动电阻上的额定功率，就可以来设计合适的制动单元，并以连续的方式消耗电能，最终能够保持直流母线电压的平衡。这种制动单元的工作方式其实就是消耗能量的一种能耗制动方式。

如果有多台变频器通过直流母线互连，一台或多台电动机产生的再生能量就可以被其他电动机以电动的方式消耗吸收了。这是一种非常有效的工作方式，即使有多个部位的电动机一直处于连续发电状态，也不用考虑采取处理再生能量的工作方式。在这种方式下，如果生产机械设备仍需要一个更快刹车或紧急停止的状态的话，那就需要再加上一个一定容量的制动单元和制动电阻以便在需要时工作，若与能量回馈装置组合，就可以充分将直流母线上的多余能量直接反馈到电网中来，以提高系统的节能效果。

（1）变频器共用直流母线方案

对于通用变频器而言，采用共用直流母线很重要的一点就是在共用直流母线上电时必须充分考虑到变频器的控制、传动系统故障、负载特性和输入主回路保护等。图2-5所示为一种应用比较广泛的共用直流母线方案。该方案包括三相进线（保持同一相位）、直流母线、通用变频器组、公共制动单元（或采用能量回馈装置）和一些附属元件。该方案具有以下特点。

① 使用一个完整的变频器，而不是单纯采用传统意义上的整流桥加多个逆变器的方案。

② 不需要有分离变频器的整流桥、充电单元、电容组和逆变器。

③ 每一个变频器都可以单独从直流母线中分离出来而不影响其他系统。

④ 通过连锁接触器来控制变频器的直流环节接入到共用直流母线上。

⑤ 采用快速熔断器来保护接在公共直流母线上的变频器的电容单元。

⑥ 所有接在公共直流母线上的变频器必须使用同一个三相交流电源。

在图2-5中，QF是变频器的进线保护装置，它应该采用带辅助触点的空气开关，因为直流接触器MC的接通必须同时满足QF的辅助触点闭合和变频器运行状态正常这两个条件，否则MC就断开。

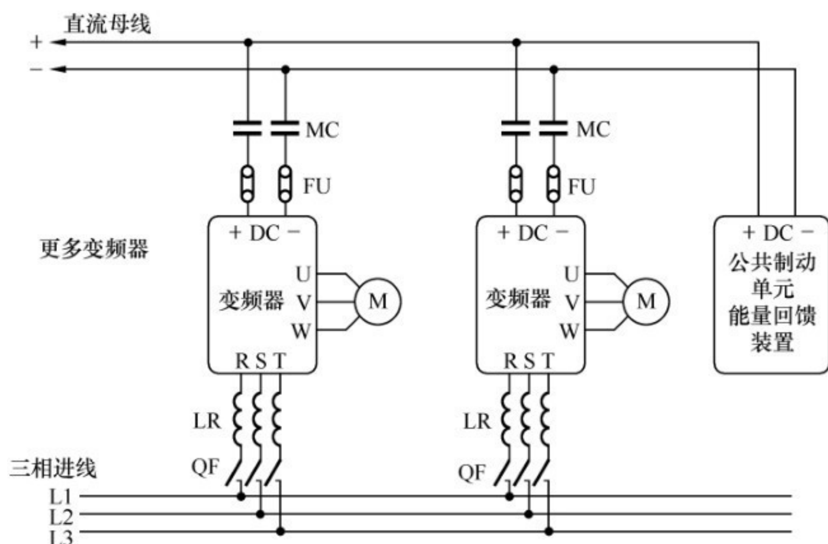


图2-5 通用变频器共用直流母线方案

LR为进线电抗器。实际工作现场的复杂环境往往会导致电网电压的波动并产生高次谐波，使用进线电抗器就能有效地避免这些因素对变频器的影响，也可用于增加电源阻抗并吸收附近设备投入工作时产生的浪涌电压和主电源的电压尖峰，从而最终保护变频器的整流单元。

为确保变频器上电后顺利地接到公共直流母线上，或在变频器故障后快速地与公共直流母线断开以进一步缩小变频器故障范围，使用在该系统中的变频器必须要有24V直流信号或无源触点信号输出，其输出信号至少包括以下几种。

① READY信号：该信号输出有效则表示变频器无故障，母线电压正常，可以接收启动命令。

② FAULT信号：该信号输出表示变频器故障。

FU 为半导体快速熔断器，额定电压通常可选 DC700V，如

Bussman 的 FWP 系列和Gouldshawmut的A70P系列。额定电流必须考虑到驱动电动机在电动或制动时的最大能量，一般情况下选择额定负载的125%电流即可。

MC为2P直流接触器，如ABB的EHDB系列，额定电压为DC650V，其额定电流同样须根据驱动电动机制动时的最大电流来选取，一般情况下可以选额定负载的120%电流。

（2）共用直流母线的应用

通用变频器的共用直流母线方案目前已经在工业领域的很多机械设备上得到广泛应用，不仅整机故障率低，而且能最大程度地节能，更具有环保意义。

① 双电动机驱动。双电动机驱动电路如图2-6所示。与主动件相连的电动机处于电动工作状态，为主电动机；与从动件相连的电动机由于转鼓差速的作用始终处于发电状态，为副电动机。主、副电动机各用一台普通变频器驱动，采用公共直流母线方案，较好地解决了副电动机持续发电的再生能量问题，并达到节能效果。

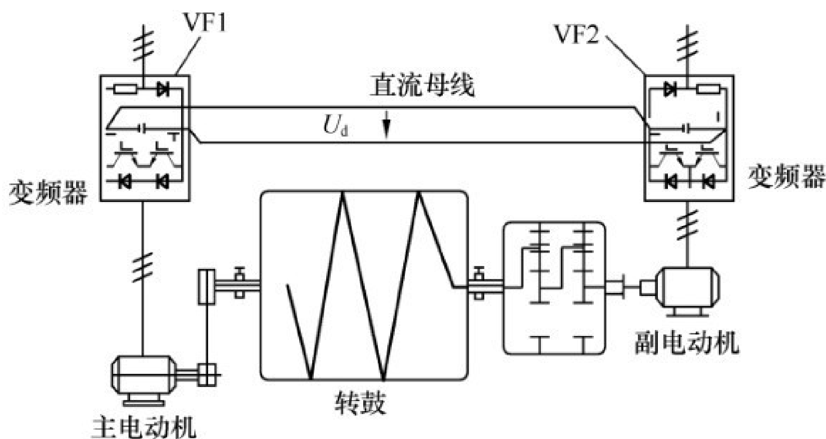


图2-6 共用直流母线方案在离心机上的应用

② 多电动机驱动。多电动机驱动设备通常包括几个主要的传动电动机，例如纺织机械通常有一道、二道、三道牵伸和卷曲电动机，它们需要同步运行。在同步时，一道牵伸电动机 M1 和二道牵伸电动机

M2 为保持一定牵伸比必须处于发电状态，而三道牵伸电动机 M3和卷曲电动机M4则处于电动状态。由于M1和M2发电是由3道牵伸的电动所引起的，该两台电动机所产生的回馈能量足以消耗在处于电动状态下的M3和M4中，而不会引起直流回路母线电压的升高。这样通过图 2-7 所示的接线方法就可以解决再生能量的制动问题，从而使系统始终处于比较稳定的状态。

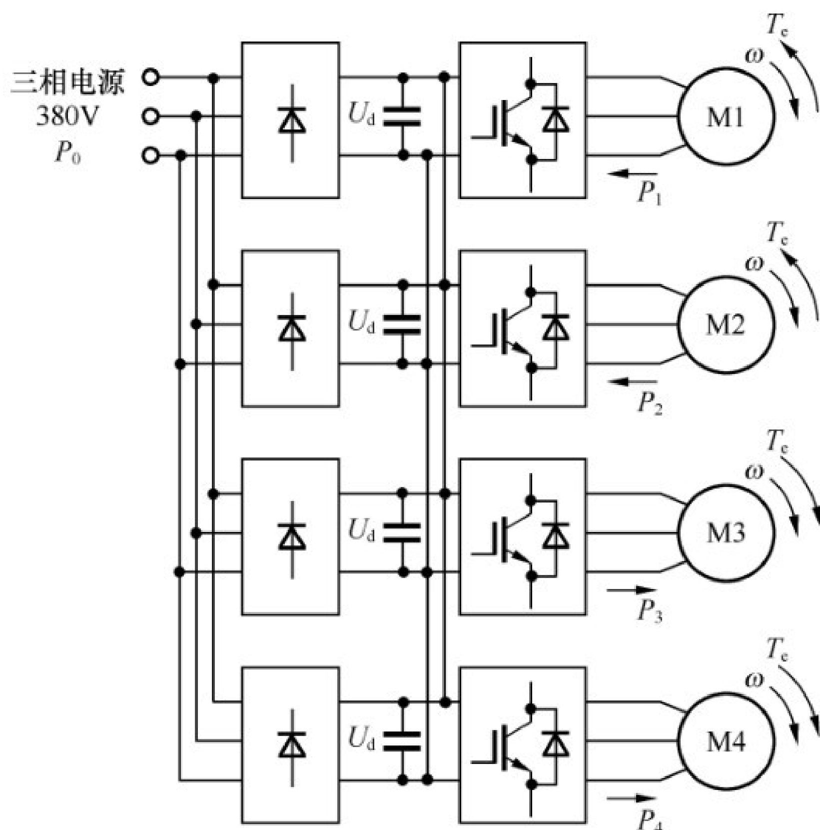


图2-7 共用直流母线方案在化纤设备上的应用

在图 2-7 中，能量传递公式为：P₀ ＝P₃ ＋P₄ －P₁ －P₂ 。显然，公共直流母线方案将大大降低能量损耗。多电动机驱动设备采用共用直流母线的控制方式，具有以下显著的特点。

① 共用直流母线可以大大减少制动单元的重复配置，结构简单合理，经济可靠。

② 共用直流母线的中间直流电压恒定，由于各变频器的直流环节并联，电容器的储能容量较大。

③ 各电动机工作在不同状态下，能量回馈互补，优化了系统的动态特性，并使系统具有较好的节能效果。

3．能耗制动

能耗制动采用的方法是在变频器直流侧设置制动单元组件，将再生电能消耗在制动电阻上来实现制动，如图2-8所示。这是一种处理再生能量的最直接简单的方法，它将再生能量通过专门的能耗制动电路消耗在电阻上转化为热能，因此又被称为电阻制动。它包括制动单元和制动电阻两部分。

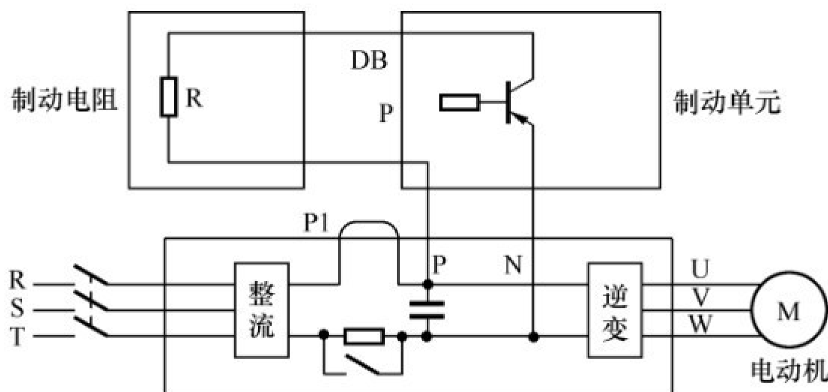


图2-8 能耗制动和制动单元、制动电阻的连接方式

（1）制动单元

制动单元的功能是当直流回路的电压U_d 超过规定的限值时，接通耗能电路，使直流回路通过制动电阻后以热能方式释放能量。制动单元可分为内置式和外置式两种，内置式适用于小功率通用变频器，外置式则适用于大功率变频器或对制动有特殊要求的工况。从原理上讲，二者并无区别，制动单元都是作为接通制动电阻的“开关”，它包括功率管、电压采样比较电路和驱动电路。

（2）制动电阻

制动电阻是用于将电动机的再生能量以热能方式消耗的载体，它有阻值和功率容量两个重要的参数。通常在工程上选用较多的是波纹电阻和铝合金电阻两种。波纹电阻采用表面立式波纹，有利于散热和减小寄生电感量，并选用高阻燃无机涂层，有效保护电阻丝不被老化，延长使用寿命。铝合金电阻的耐气候性、耐震动性优于传统瓷骨架电阻，广泛应用于要求高的恶劣环境中，易紧密安装，易附加散热器，外形美观。

（3）制动过程

能耗制动的过程如下：当电动机在外力作用下减速、反转（包括被拖动）时，电动机即以发电状态运行，能量反馈回直流回路，使母线电压升高；制动单元采样母线电压，当直流电压达到制动单元设置的导通值时，制动单元的功率开关管导通，电流流过制动电阻；制动电阻将电能转换为热能，电动机的转速降低，直流母线电压也降低；当母线电压降至制动单元设定的关断值时，制动单元的开关功率管截止，制动电阻中无电流流过。

（4）安装要求

① 制动单元与变频器之间以及制动单元与制动电阻之间的配线距离要尽可能短（线长在2m以下），导线截面积要满足制动电阻泄放电流的要求。

② 制动单元在工作时，制动电阻将发出大量热量，应使制动电阻有良好的散热条件，连接制动电阻的导线要使用耐热导线，导线勿触及制动电阻。

③ 制动电阻应使用绝缘挡片固定牢固，安装位置要确保良好散热，在柜内安装时应将制动电阻安装在变频柜的顶部。

（5）制动单元与制动电阻的选配

① 制动转矩可按下式计算。

$$M_{Z}=\frac{(GD+GD')(V_{Q}-V_{H})}{375T_{i}}-M_{FZ} \tag{2-23}$$

式中：M_Z 为制动转矩；GD为电动机的转动惯量；GD＇为电动机负载折算到电动机侧的转动惯量；V_Q 为制动前的速度；V_H 为制动后的速度；M_{FZ} 为负载阻转矩；T_j 为减速时间。

一般情况下，在进行电动机制动时，电动机内部存在一定的损耗，为额定转矩的18%～22%，为此计算出所需的制动转矩小于电动机额定转矩的18%时就无须接制动装置。

② 制动电阻的阻值可按下式计算。

$$R_Z = \frac{U_Z^2}{0.147(M_Z - 20\% M_e)V_Q} \tag{2-24}$$

式中：R_Z 为制动电阻的阻值；U_Z 为制动单元的动作电压值；M_e 为电动机的额定转矩。

在制动单元工作过程中，直流母线电压的升降取决于常数RC，R即为制动电阻的阻值，C为变频器内部电容的容量。

制动电阻的阻值太大了，制动不迅速；太小了，制动用开关元件很容易被损坏。一般当负载惯量不太大时，认为电动机制动时最多有70%的能量消耗于制动电阻上，30%的能量消耗于电动机本身及负载的各种损耗上。此时制动电阻为

$$0.7P = \frac{U_C^2}{R \times 10^3} \text{ 或 } R = \frac{U_C^2}{0.7P \times 10^3} \tag{2-25}$$

式中：P为电动机功率（kW）；U_C 为制动时母线上的电压（V）；R为制动电阻的阻值（Ω）。

当三相电压为380V时U_C ≈700V，单相电压为220V时U_C ≈390V。三相380V时制动电阻的阻值为

$$R = \frac{U_C^2}{0.7P \times 10^3} = \frac{700^2}{0.7P \times 10^3} = \frac{700}{P} \tag{2-26}$$

单相220V时制动电阻的阻值为

$$R=\frac{U_{\mathrm{C}}^2}{0.7P\times10^3}=\frac{390^2}{0.7P\times10^3}\approx\frac{217}{P} \qquad (2\text{-}27)$$

低频制动的制动电阻的耗散功率一般为电动机功率的 1/5～1/4，在频繁制动时耗散功率要加大。有的小容量变频器内部装有制动电阻，但在高频或重力负载制动时，内装制动电阻的散热量不足，容易损坏，此时要改用大功率的外接制动电阻。各种制动电阻都应选用低电感结构的电阻器，连接线要短，并使用双绞线或平行线。采取低电感措施是为了防止和减少电感能量加到制动开关管上而造成制动开关管损坏。如果回路的电感大、电阻小，将会造成制动开关管损坏。

制动电阻与所用电动机的飞轮转矩有密切关系，而电动机的飞轮转矩在运行时是变化的，因此准确计算制动电阻比较困难，通常采用经验公式取一个近似的值。

R_Z ≥(2×U_D)/I_e （2-28）

式中：I_e 为变频器的额定电流；U_D 为变频器直流母线电压。

③ 制动单元的选择。在进行制动单元的选择时，制动单元的最大工作电流是选择的唯一依据，其计算公式如下。

$$I_{\mathrm{PM}}=\frac{U_{\mathrm{M}}}{R_{\mathrm{Z}}} \qquad (2\text{-}29)$$

式中：I_{PM} 为制动电流瞬时值；U_D 为制动单元的直流母线电压。

④ 计算制动电阻的标称功率。由于制动电阻为短时工作制，因此根据电阻的特性和技术指标，一般可用下式求得。

P_B ＝K×P_{av} ×η （2-30）

式中：P_B 为制动电阻的标称功率；K为制动电阻的降额系数；P_{av} 为制动期间的平均消耗功率；η为制动使

用率。

各变频器生产厂家为了减少制动电阻的阻值挡数，常对若干种不同容量的电动机提供相同阻值的制动电阻。因此，在制动过程中所得到的制动转矩的差异是较大的。例如，在艾默生TD3000系列变频器中，对于配用电动机容量为22kW、30kW和37kW的变频器，所提供的制动电阻规格都是3kW、20Ω。制动单元在直流电压为700V时导通，则制动电流为

I_B =700/20=35(A)

若所用电动机为Y系列的4极电动机，则其 I_B /I_{MN} 、T_B /T_{MN} 参数见表2-2。

表2-2 Y系列4极电动机的I_B /I_{MN} 、T_B /T_{MN} 参数

P_{MN}(kW)	I_{MN}(A)	I_B/I_{MN}	T_B/T_{MN}
22	42.5	0.82	1.64
30	56.8	0.62	1.24
37	69.8	0.50	1.00

制动电阻的功率为

P_{B0} =(700)² /20=24500(W)=24.5(kW)

iF系列变频器220V级外部制动电阻的参数见表2-3。

表2-3 iF系列变频器220V级外部制动电阻的参数

变频器型号	功率（kW）	100%制动转矩		150%制动转矩	
		电阻功率（W）	电阻阻值（Ω）	电阻功率（W）	电阻阻值（Ω）
SB004iF-1	0.37	60	400	80	300
SB008iF-1	0.75	100	200	150	150
SB015iF-1	1.5	200	100	300	60
SB022iF-1	2.2	300	60	400	50

注：表中数据是根据5%ED、15s连续制动时间得到的。

iF系列变频器380V级外部制动电阻的参数见表2-4。

表2-4 iF系列变频器380V级外部制动电阻的参数

变频器型号	功率（kW）	100%制动转矩		150%制动转矩	
		电阻功率（W）	电阻阻值（Ω）	电阻功率（W）	电阻阻值（Ω）
SB015iF-4	1.5	200	450	300	300
SB022iF-4	2.2	300	300	400	200
SB040iF-4	4.0	500	200	600	130
SB055iF-4	5.5	700	120	1000	85
SB075iF-4	7.5	1000	90	1200	60
SB110iF-4	11	1400	60	2000	40
SB150iF-4	15	2000	45	2400	30
SB185iF-4	18.5	2400	35	3600	20
SB220iF-4	22	2800	30	3600	20

注：表中数据是根据5%ED、15s连续制动时间得到的。

2.2.2 电抗器和滤波器选件

由于变频器是通过6组脉宽可调的SPWM波控制三相6组功率器件导通与关断，从而形成电压、频率可调的三相输出电压，其输出电压和输出电流是由SPWM波和三角载波的交点产生的，不是标准的正弦波，包含较强的高次谐波成分，将对同一电网上的其他用电设备产生很强的干扰，甚至造成其不能使用；同时其他设备启动或工作时会对电网造成冲击，或电网自身出现的电压波动、浪涌也会对变频器产生干扰，影响其正常工作，甚至造成变频器损坏。

大量工程实践证明，为了减小变频器对其他设备和电网的干扰，同时防止电网和其他干扰源对变频器的干扰，在变频器的输入、输出端配置滤波器、交流电抗器、平波电抗器等抗干扰设备是有效的抑制干扰措施。变频调速系统采用的电抗器分为铁芯电抗器与铁氧体电抗器，两者的最佳应用条件如下。

① 铁芯电抗器适合在频率为 50～200Hz 的变频调速系统中作为进线电抗器及输出电抗器。

② 铁氧体电抗器适合在异步电动机额定频率（弱磁频率）为200Hz，最高频率为300Hz，磁阻电动机或永磁同步电动机最高频率为600Hz的变频调速系统中作为进线电抗器及输出电抗器。

1．输入电抗器

变频器将交流电网电压转变为直流电时经整流后都经电容滤波，

电容器的使用使输入电流呈尖峰脉冲状。当电网阻抗小时，这种尖峰脉冲电流极大，造成很大的谐波干扰，并容易使变频器整流桥和电容器损坏。输入电抗器串联在电源进线与变频器输入侧（R、S、T），用于抑制输入电流的高次谐波，减小电源浪涌对变频器的冲击，改善三相电源的不平衡性，提高输入电源的功率因数（提高到0.75~0.85）。在交流变频调速系统输入侧设置交流电抗器或EMC滤波器，应满足变频器安装场所的其他用电设备对电网品质的要求，若变频器工作时已影响到这些设备正常运行，可在变频器输入侧装交流电抗器或 EMC 滤波器，以抑制由功率器件通断引起的谐波和传导辐射。若与变频器连接的电网的变压器中性点不接地，则不能选用EMC滤波器。当变频器用500V以上电压驱动电动机时，需在输出侧配置du/dt滤波器，以抑制逆变输出电压尖峰和电压的变化。这样有利于电动机的安全运行，同时也减小了容性漏电流和电动机电缆的高频辐射，以及电动机的高频损耗和轴电流。使用du/dt滤波器时要注意滤波器上的电压降将引起电动机转矩的降低，变频器与滤波器之间电缆的长度不得超过3m。

电源侧交流输入电抗器用于改善输入电流波形，延长整流器和滤波电容的寿命，减小不良输入电流波形对电网的干扰，协调同一电网上晶闸管等变换器造成的波形影响，减小功率切换和三相不平衡的影响，因此也称为电源协调电抗器。变频调速系统接入与未接入输入电抗器时，输入电网的谐波电流的情况如图2-9所示。从图2-9中可以看出，接入电抗器后能有效地抑制谐波电流。电抗器的作用是防止变频器产生的高次谐波通过电源的输入回路返回到电网中，从而影响其他用电设备。

输入电抗器串联在电源进线与变频器输入侧（R、S、T）之间，既能阻止来自电网的干扰，又能减小变频器整流单元产生的谐波电流对电网的污染。当电源容量很大时，更要防止各种过电压引起的电流冲击，因为它们对变频器内的整流二极管和滤波电容器都是有威胁的。因此，接入输入电抗器对改善变频器的运行状况是有好处的。根据运行经验，在下列场合中一定要安装输入电抗器，才能保证变频器

安全可靠运行。

① 变频器所接电源的容量与变频器容量之比为10:1以上，电源容量为600kV·A及以上，且变频器的安装位置距离大容量电源在10m以内，如图2-10所示。

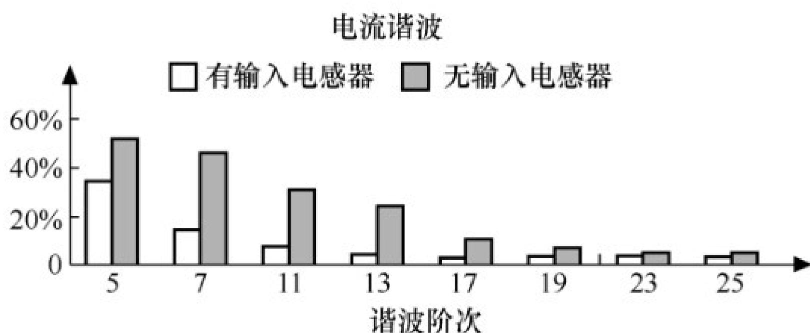


图2-9 6脉冲整流器安装与未安装进线电抗器的比较

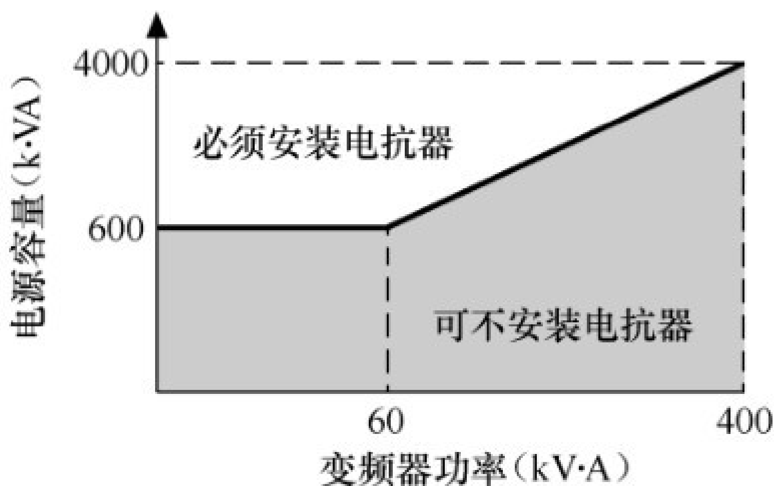


图2-10 需要安装进线电抗器的电源

② 三相电源电压不平衡率大于3%。电源电压不平衡率K可按下式计算。

$$K=\frac{U_{max}-U_{min}}{U_{p}}\times100\%$$

（2-31）

式中：U_{max} 为最大一相电压；U_{min} 为最小一相电压；U_{p} 为三相平均电压。

③ 其他晶闸管整流装置与变频器共用同一进线电源，或进线电源端接有通过开关切换调整功率因数的电容器装置。

（1）输入电抗器容量的选择

输入电抗器的容量可按预期在电抗器每相绕组上的压降来确定，一般选择压降为网侧相电压的2%～4%，也可按表2-5中的数据选取。

表2-5 网侧输入电抗器压降

交流输入线电压 $\sqrt{3}\,U_V$	电抗器额定电压降 $\Delta U_L=2\pi LI_n$
230V	5V
380V	8.8V
460V	10V

输入电抗器的电感量L可按下式计算。

$$L=\Delta U_{L}/(2\pi fI_{n})=0.04U_{V}/(2\pi f\,I_{n})$$ （2-32）

式中：U_{V} 为交流输入相电压有效值（V）；ΔU_{L} 为电抗器的额定电压降（V）；I_{n} 为电抗器的额定电流（A）；f为电网频率（Hz）。

输入电抗器的电感量L也可按下面公式计算。

$$L=(2\%\sim5\%)Y/(6.18\,fI)$$ （2-33）

式中：U为额定电压（V）；I为额定电流（A）；f为最高频率（Hz）。

输入电抗器的压降不宜取得过大，因为压降过大会影响电动机转矩。一般情况下选取进线电压的4%（8.8V），在较大容量的变频器中，如75kW以上，可选用10V压降。

（2）输入电抗器额定电流I_{L}的选用

单相变频器配置的输入电抗器的额定电流 I_{L} 按等于

变频器的额定电流I_N 选取，三相变频器配置的输入电抗器的额定电流 I_L 按变频器的额定电流I_N 乘以0.82选取。电压源逆变器电源侧交流电抗器采用3%阻抗即可使总谐波电流畸变下降到原先的44%左右。选用2%～4%的压降阻抗是对相电压而言的，即

$$U_{\mathrm{D}} = \frac{\Delta U}{U_{\mathrm{P}}} = \frac{\Delta U}{U_{\mathrm{N}} / \sqrt{3}} \times 100\% \qquad (2\text{-}34)$$

式中：ΔU为电压压降；U_P 为相电压；U_N 为线电压。

三相时，输入侧交流电抗器的电感值为

$$L_{1\mathrm{A}1} \approx \frac{2 \sim 4}{100} \times \frac{U_{\mathrm{N}} \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi f \times I_{\mathrm{L\,max}}} \qquad (2\text{-}35)$$

式中：I_{Lmax} 为电感中流过的最大电流。

例如，对 380V、90kW、50Hz、170A 的变频器，需要配置的输入侧交流电抗器的电感量为

$$L_{1\mathrm{A}1} \approx \frac{2 \sim 4}{100} \times \frac{380 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi 50 \times I_{\mathrm{L\,max}}} \times 10^{3} \approx 0.082 \sim 0.164 \ (\mathrm{mH})$$

选择工作电流为 170A、电感值在 0.123mH左右的电抗器即可。在工程设计中需考虑电感值和电流值两方面，电流值一定要大于等于额定值，电感值略微偏大有利于减小谐波，但电压降会超过 3%。在设计中还要考虑电源内部阻抗，在电源变压器的功率大于变频器功率的10倍且线路很短的场合，电源内阻小，不仅需要使用输入侧交流电抗器，而且要选择较大的电感值，例如选用4%～5%阻抗的电感量。

2．输出电抗器

当变频器和电动机之间的接线超长时，随着变频器输出电缆长度的增加，其分布电容明显增大，从而造成变频器逆变输出的容性尖峰

电流过大而引起变频器保护动作，因此必须使用输出电抗器、du/dt滤波器或正弦波滤波器等装置对这种容性尖峰电流进行限制。

输出滤波电抗器用于补偿在电动机电缆长距离敷设时引起的线路电容充电电流，也可抑制谐波。在多电动机构成传动系统时，可接入一台输出滤波电抗器，总电缆长度是每台电动机电缆长度的总和。从理论上说，功率等级不同的变频器所允许敷设的电动机电缆长度是不同的，并且不同生产厂商生产的变频器所允许敷设的电动机电缆长度也是不同的。因此，关于变频器敷设的电动机电缆在超过多大距离时应加装输出滤波电抗器，还应参阅各变频器生产厂商提供的使用手册。

输出电抗器串联在变频器输出侧（U、V、W）和电动机之间，用于限制电动机连接电缆的容性充电电流和电动机绕组的电压上升率，减小变频器功率器件动作时产生的干扰和冲击。在变频器与负载电动机之间的连接电缆超过50m时，应配置输出电抗器。

在变频器的输出侧使用交流电抗器可平滑滤波，减小瞬变电压du/dt 的影响，并可得到以下的改善。

① 降低了电动机的噪声。

② 降低了输出高次谐波造成的漏电流。

③ 减小了电磁干扰。

④ 保护了变频器内部的功率开关器件。

⑤ 延长了电动机的绝缘寿命。

输出电抗器有助于改善变频器的过电流和过电压，变频器和电动机之间采用长电缆连接或向多电动机供电时，由于变频器工作频率高，连接电缆的等效电路成为一个大电容而引起下列问题。

① 电缆对地电容给变频器额外增加了峰值电流。

② 由于高频瞬变电压，给电动机绝缘额外增加了瞬态电压峰值。

为了避免电动机绝缘过早老化和变频器损坏，可以选用输出电抗器来减小在电动机端子上的 du/dt 值。变频器和电动机之间的电缆较长时，采用输出电抗器可以减小负荷电流的峰值，但是输出电抗器不能减小电动机端子上的瞬变电压的峰值。

输入电抗器LA1、输出电抗器LA2和直流电抗器L_{DC}在变频调速系统中的连接如图2-11所示。输出电抗器串联在变频器输出侧（U、V、W）和电动机之间，用于限制电动机连接电缆的容性充电电流和电动机绕组的电压上升率，减小变频器功率器件动作时产生的干扰和冲击。

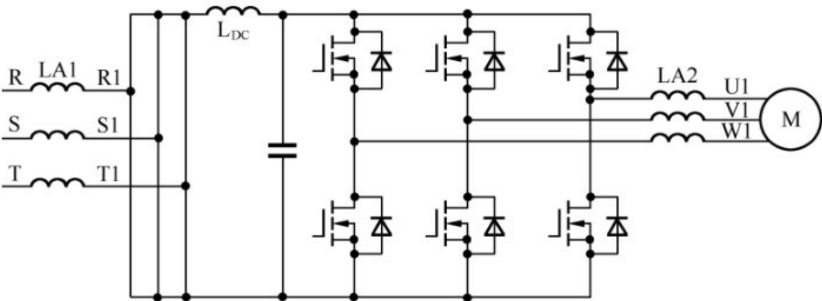


图2-11 3种电抗器在变频调速系统中的连接图

输出电抗器的主要作用是补偿长线分布电容的影响，并能抑制变频器输出的谐波，起到减小变频器噪声的作用。有些变频器产品使用说明书中提供了有输出电抗器与无输出电抗器时连接电动机的导线允许的最大长度，表2-6是西门子公司提供的数据。

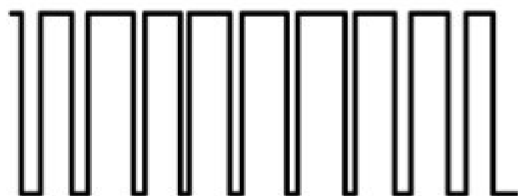
表2-6 输出滤波电抗器与允许导线长度

变频器功率（kW）	额定电压（V）	非屏蔽导线允许的最大长度（m）	
		无输出电抗器	有输出电抗器
4	200～600	50	150
5.5	200～600	70	200
7.5	200～600	100	225
11	200～600	110	240
15	200～600	125	260
18.5	200～600	135	280
22	200～600	150	300
30～200	280～690	150	300

变频器输出频率在120Hz以下，主回路开关频率在3kHz以下时，可用常规的铁芯电抗器；输出频率在120Hz以上，主回路开关频率在3kHz以上时，应该用铁氧体磁芯的电抗器，否则电抗器的损耗过大，温升过高。



（a）经电动机绕组电感作用形成的电流波形



（b）由变频器输出的 SPWM 电压波形

图2-12 调制波形

变频器输出的是经PWM调制的电压波，如图2-12所示，由于电动机绕组的电感性质能使电流连续，因此电流基本上是正弦波形，脉冲宽度调制（PWM）有着陡峭的电压上升和下降的前后沿，即 du/dt 很大，使得输出引线向外发射含量极大的电磁干扰，并且在引出线对地、电动机绕组匝间、绕组对地间都产生很大的脉冲电流。

为了减轻变频器输出的瞬时电压 du/dt 对外界的干扰，减小输出波形畸变，达到环保标准，减少对电动机绕组的电压冲击造成的绝缘损坏，降低电动机的温升和噪声，避免在变频器输出功率管上因 du/dt 和流过过大的脉冲冲击电流而使功率管损坏，以及减轻负载短路造成对变频器的损伤，有必要在变频器输出端增设交流电抗器。

值得指出的是脉冲电压通过长的输电线时，由于长线上波的反射叠加使得在长线（即变频器输出导线）超过临界长度后，电压有可能达到直流母线（变频器内直流母线）电压的 2倍，因此变频器输出线长度受到了限制。为解除这种限制，必须接入输出侧交流电抗器。接入后，送到电动机等负载上的波形就接近正弦波形了。但在实际使用中，只要负载是电感性的，电抗器采用1%阻抗或更低一些都是可行的，因为PWM调制频率远高于基波频率，所以，输出侧交流电抗器

的电感量可按下式计算。

$$L_{1A2} \approx \frac{0.5 \sim 1.5}{100} \times \frac{U_N \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi f \times I_{L\max}} \tag{2-36}$$

例如，380V、90kW、50Hz、170A变频器输出侧交流电抗器的电感量为

$$L_{1A2} \approx \frac{0.5 \sim 1.5}{100} \times \frac{380 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi \times 50 \times 170} \times 10^3 \approx 0.0205 \sim 0.061 \text{（mH）}$$

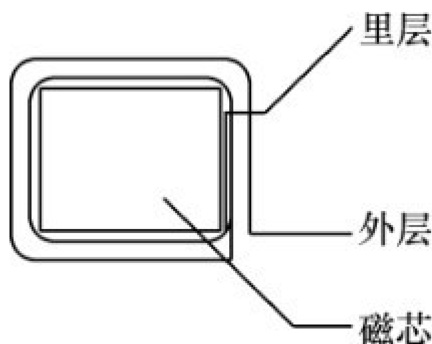


图2-13 输出侧交流电抗器的断面结构

选择电感量在0.041mH左右、工作电流为170A的电抗器即可。输出侧交流电抗器绕制在磁芯上的导线头尾的位置关系到电感向外发射干扰能量的程度。变频器输出侧交流电抗器的断面结构如图2-13所示，绕组头在里层，尾在外层，因此头接变频器的输出端，尾接负载电动机较好。这样，变频器输出端的强干扰被外层屏蔽，减少了干扰向外发射。

输出侧交流电抗器的抑制频率若在较高频率范围内，应使用铁氧体磁芯，以减小损耗，但体积较大。在变频器与负载之间若设有变压器，变压器输入绕组的漏抗和变压器的损耗将大大削弱调制波，起到了输出侧电抗器的作用，因此可以省略输出侧交流电抗器。

3．直流电抗器

直流电抗器也叫平波电抗器，串联在直流母线上（端子P1、P

＋），主要用于减小输入电流的高次谐波成分，提高输入电源的功率因数（提高到0.95）。此电抗器可与交流电抗器同时使用，变频器的功率大于30kW时才考虑配置直流电抗器。

直流电抗器接在滤波电容前，它用于限制进入电容的整流后冲击电流的幅值，并改善功率因数，降低母线交流脉动。变频器的功率越大，越应该使用直流电抗器，因为没有直流电抗器时，变频器的电容滤波会造成电流波形严重畸变和电网电压波形严重畸变，而且可延长变频器的整流桥和滤波电容的寿命。

直流电抗器用于改善电容滤波（当前电压型变频器的主要滤波方式是电容滤波）造成的输入电流波形畸变和改善功率因数、减少和防止冲击电流造成整流桥损坏和电容过热。当电源变压器和输电线路的电阻较小、电网瞬变频繁时，都需要使用直流电抗器。直流电抗器能使逆变环节的运行更稳定，并能限制短路电流。

直流电抗器电感值的选择一般为变频器输入侧交流电抗器3%阻抗电感量的2～3倍，最少为1.7倍，即

$$L_{CD}=(2\sim 3)L_{AC} \qquad (2\text{-}37)$$

例如，对于三相380V、90kW变频器所配直流电抗器，有

$$L_{CD}=(2\sim 3)L_{LA1}=(2\sim 3)\times 0.123=0.246\sim 0.369(\text{mH})$$

选择工作电流为170A、电感量为0.2mH的电抗器。

4．滤波器

在变频器输入、输出电路中有许多高频谐波电流，滤波器用于抑制变频器产生的电磁干扰噪声的传导，也可抑制外界无线电干扰以及瞬时冲击、浪涌对变频器的干扰。根据使用位置的不同，滤波器可以分为线路滤波器、辐射滤波器和输出滤波器。

① 线路滤波器。线路滤波器串联在变频器控制回路侧，由电感线圈组成，具有良好的共模和差模干扰抑制能力，通过增大电路的阻抗减小频率较高的谐波电流。在需要使用外控端子控制变频器时，如果控制回路的电缆较长，外部环境的干扰有可能通过控制回路的电缆侵入而造成变频器误动作，此时将线路滤波器串联在控制回路的电缆

上，可以消除干扰。

② 辐射滤波器。辐射滤波器并联在变频器输入侧（R、S、T），由高频电容器组成，可以吸收频率较高、具有辐射能量的谐波成分，降低沿电源线传输的无线电干扰噪声。线路滤波器和辐射滤波器同时使用时效果更好。

③ 输出滤波器。各种高速开关器件的使用提高了变频器的性能，降低了开关损耗，但由此也产生一些负面问题。

变频器的输出中含有高频谐波，使电缆、电动机和变压器的损耗增加。另外，由于高速开关器件的使用，变频器输出的PWM波的du/dt很高，一方面会引起高达数兆赫的电磁干扰问题，另一方面在使用长线电缆传输时，由于行波反射而引起电动机端过电压，使电动机绝缘损坏、电缆爆裂。对于谐波电流问题，可以通过改变调制波形等方法使谐波分量降低但并不能消除；对于高速开关器件引起的过电压问题，可以采用 du/dt 抑制滤波器，但只对一定长度的电缆适用，并不适用于任意长度的电缆。能同时解决以上问题的有效方法是在变频器的输出侧加装 RLC 正弦波滤波器。将 PWM 波滤成近似正弦电压波形，输出电压的 THD （Total Harmonic Distortion）值可以低于5%。由于RLC滤波器具有结构简单、可靠性高及容量大等特点，在变频器输出滤波器设计中是首选方案。输出滤波器串联在变频器输出侧（U、V、W），由电感线圈组成，可以减小输出电流中的高次谐波成分，抑制变频器输出侧的浪涌电压，同时可以减小电动机由高频谐波电流引起的附加转矩。输出滤波器到变频器和电动机的接线应尽量缩短，滤波器亦应尽量靠近变频器。

5．变频器的漏电流

由于变频器输出的波形不是标准正弦波，携带有高次谐波成分，因此漏电流比正常情况时要大。变频器的漏电流与两个因素有关：载波频率和变频器输出端到电动机的电缆长度。载波频率越高，漏电流越大；电缆长度越大，漏电流也越大。因此，在不影响使用的情况下应尽量将变频器的载波频率调低一些，尽量使用屏蔽电缆，缩短变频器到电动机的距离，或者设置输出电抗器。

在变频器输入、输出引线和电动机内部均存在分布电容，且低噪声型变频器使用的载波频率较高。因此，变频器的对地漏电流较大（大容量机种更为明显），其值正比于分布电容量，漏电流有时会导致保护电路误动作。遇到上述问题时，除适当降低载波频率和缩短引线外，为了保护设备和人身安全，可在变频器的进线侧安装漏电断路器。漏电断路器的动作电流应大于该线路在工频电源下不使用变频器时漏电流（线路、无线电噪声滤波器、电动机等漏电流的总和）的10倍。

当选用变频器专用的漏电断路器时，其额定灵敏度电流为

$$I_{\Delta n} \geq 10\times(I_{g1}+I_{g2}+I_{gn}+I_{gm}) \quad (2\text{-}38)$$

当选用一般的漏电断路器时，其额定灵敏度电流为

$$I_{\Delta n} \geq 10\times[I_{g1}+I_{gn}+3\times(I_{g2}+I_{gm})] \quad (2\text{-}39)$$

式中：I_{g1} 为工频电源运行时变频器输入回路的漏电流；I_{g2} 为工频电源运行时变频器输出回路的漏电流；I_{gn} 为变频器输入侧噪声滤波器的漏电流；I_{gm} 为工频电源运行时电动机的漏电流。

如果上式中的漏电流基本数据不好确定，变频器专用漏电断路器的额定灵敏度电流按每台变频器20mA估算，一般漏电断路器的额定灵敏度电流按每台变频器50mA估算。

6．电抗器的设计计算和测定

（1）三相交流输入电抗器的设计计算

当选定了电抗器的额定电压降 ΔU_L，再计算出电抗器的额定工作电流I_n 以后，就可以计算电抗器的感抗 X_L。电抗器的感抗 X_L 可按式（2-40）计算。

$$X_L=\Delta U_L/I_n \quad (2\text{-}40)$$

有了以上数据便可以对电抗器进行结构设计，电抗器铁芯截面积

S 与电抗器压降ΔU_L 的关系可用式（2-41）描述。

$$S=\frac{\Delta U_{\mathrm{L}}}{4.44fBNK_{\mathrm{S}}\times 10^{-4}} \tag{2-41}$$

式中：ΔU_L 的单位为V；f为电源频率（Hz）；B为磁通密度（T）；N为电抗器的线圈匝数；K_S 为铁芯叠片系数，取0.93。

电抗器铁芯窗口面积A与电流I_n 及线圈匝数N的关系可用式（2-42）描述。

A＝I_n N/(jK_A ）（2-42）

式中：j为电流密度，根据容量大小可按2～2.5A/mm² 选取；K_A 为窗口填充系数，为0.4～0.5。

铁芯截面积与窗口面积的乘积可表示为

SA＝P_K /(4.44fBjK_S K_A ×10^{－4})（2-43）

由式（2-43）可知，根据电抗器的容量P_K（P_K ＝ΔU_L I_n ），选用适当的铁芯使 SA 能符合式（2-43）表达的关系。

假设选用B ＝ 0.6T，j ＝ 200A/cm² ，K_S ＝ 0.93，K_A ＝ 0.45，设A ＝ 1.5S，则电抗器铁芯截面积与容量的关系为

$$1.5S^2=\frac{\Delta U_{\mathrm{L}}I_{\mathrm{n}}}{4.44\times 50\times 0.6\times 200\times 0.93\times 0.45\times 10^{-4}}\approx\frac{\Delta U_{\mathrm{L}}I_{\mathrm{n}}}{1.115} \tag{2-44}$$

电抗器铁芯的截面积为

$$S=0.773\sqrt{\Delta U_{\mathrm{L}}I_{\mathrm{n}}} \tag{2-45}$$

铁芯截面积求出后，即可按下式求出线圈匝数。

$$N=\frac{\Delta U_{L}}{222BSK_{S}\times 10^{-4}} \qquad (2\text{-}46)$$

为了使输入电抗器有较好的线性度，在铁芯中应有适当的气隙。气隙大小可先选定为2～5mm，通过实测电感值调整气隙以改变电感量。

（2）电抗器电感量的测定

① 直流电抗器电感量的测定。铁芯电抗器的电感量和它的工作状况有很大关系，而且呈非线性，所以应尽可能使电抗器处于实际工作条件下进行测量。图2-14所示是测量直流电抗器电感量的电路。在电抗器上分别加上直流电流I_d 与交流电流I_j ，用电容（C = 200μF）隔开交、直流电路，测出直流电抗器L_{DC} 两端的交流电压 U_j 与交流电流I_j ，可由式（2-47）、式（2-48）近似计算电感量L。

X_L ＝U_j /I_j ＝ωL （2-47）

L＝X_L /ω （2-48）

② 交流电抗器电感量的测定。带铁芯的交流电抗器的电感量不宜用电桥测量，因为测电感电桥的电源频率一般为1000Hz。因此，测电感电桥只可用于测量空心电抗器。

对于用硅钢片叠制而成的交流电抗器，电感量的测量可采用工频电源的交流电压电流表法测量，如图2-15所示。通过电抗器的电流可以略小于额定值，为求准确可以用电桥测量电抗器线圈内阻r_L ，每相电感值可按式（2-49）计算。

$$L=\frac{1}{2\pi f}\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^{2}-r_{L}^{2}} \qquad (2\text{-}49)$$

式中：U为交流电压表的读数（V）；I为交流电流表的读数（A）；r_L 为电抗器每相线圈的电阻（Ω）。

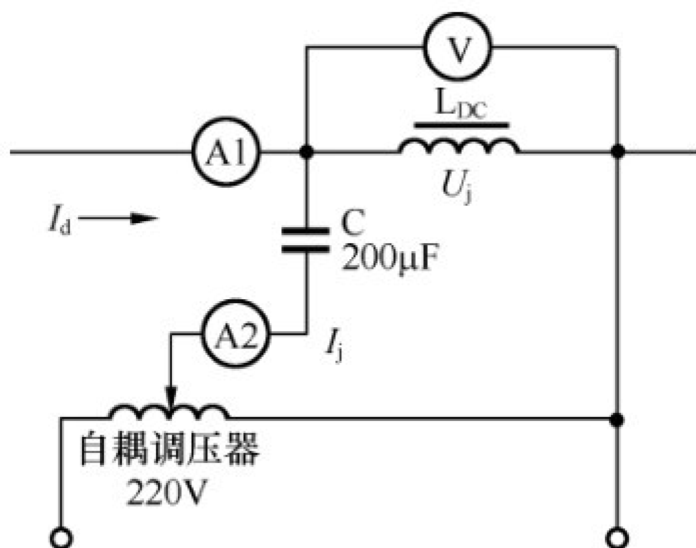


图2-14 直流电抗器的电感量测量电路

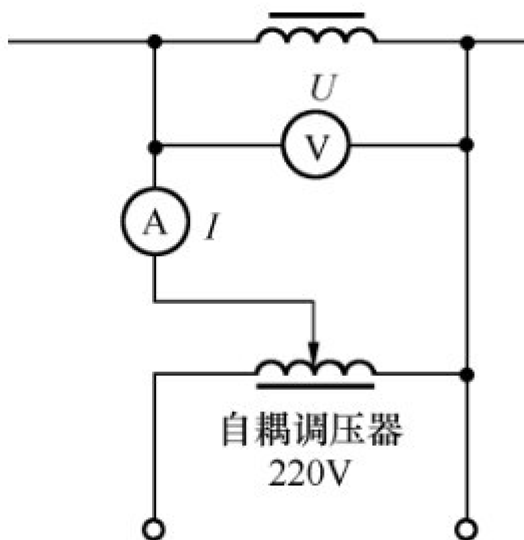


图2-15 交流电抗器的电感量测量电路

由于电抗器线圈的内阻r_L 很小，在工程计算中常可忽略。

2.3 变频调速系统的电气主接线及配套电气设备的选用

2.3.1 变频调速系统的电气主接线

1．变频器主电路的接线

变频器与供电电源之间应装设带有短路及过载保护的断路器、交流接触器，以免变频器发生故障时事故扩大。电控系统的急停控制应使变频器电源侧的交流接触器断开，彻底切断变频器的电源供给，保证设备及人身安全。电源电压及波动范围应与变频器低电压保护整定值相适应（出厂时一般设定为0.8U_N ～0.9U_N ），因为在实际使用中电网电压偏低的可能性较大。主电源频率波动和谐波干扰会增加变频系统的热损耗，导致噪声增大，输出降低。在进行系统主电源供电设计时，应将变频器和电动机在工作时自身的功率消耗考虑进去。

在变频器输出端与电动机之间一般不用再加装电动机保护开关，因为变频器本身对输出线路和电动机有着非常强的保护作用，在线路短路、电动机过载、缺相这些故障出现时，变频器能自动停机，断开负荷，并给出故障指示和报警信号。只要正确地设置变频器内电子继电器的保护值，就能很好地保护电动机及变频器本身。对于大惯性负荷，如果选择了DC制动方式对电动机进行制动，输出端不得加装接触器，因为在停机时接触器断开DC制动将不起作用。如果用一台变频器驱动多台电动机运转，变频器内的电子继电器保护值是全部电动机保护值的总和，对单台电动机不起保护，因此，必须在每个分支回路上加装保护断路器，并且将保护断路器的辅助报警触点串联起来引入变频器紧急停止端，一旦外部电动机中的一台出故障，保护开关就动作，对变频器实施保护。

变频器最适用于负荷平稳的负载，而对冲击大负载不太适应。如果变频器是应用在冲击大负载上，由于转矩冲击太大，产生的电流冲

击是很大的，在启动时即使采取转矩提升补偿措施，启动也相当困难，很容易造成变频器自身保护装置动作。目前解决这个问题的方法只能是选择比负载容量大一级的变频器。有的负载在运转中由于其他因素的影响，如循环风机在风门调整不当的时候，由于气流的作用，叶轮带动电动机转动，再生能量会使负载带动电动机旋转，产生再生能量而反送回变频器，使变频器直流环节的电压升高达到限定值，造成过电压保护动作，影响正常运行。若过电压保护不动作，也将造成变频器温度升高，影响变频器的寿命，甚至损坏变频器。对此可以选用 DC 制动方式，接上外部制动电阻吸收再生能量。

2．电器防护形式与安全类别

（1）防护形式

变频器的箱体结构要与环境条件相适应，即必须考虑温度、湿度、粉尘、酸碱度、腐蚀性气体等因素。常见的防护形式如下。

① 第一类防护形式：防止固体异物进入电器内部及防止人体触及内部的带电部分或运动部分的防护。第一类防护形式的分级方式及定义见表2-7。

表2-7 第一类防护形式的分级方式及定义

防护等级	简　　称	定　　义
0	无防护	没有专门的防护
1	防止直径大于 50mm 的物体	能防止直径大于 50mm 的固体异物进入壳内，能防止人体的某一大面积部分（如手）偶然或意外触及壳内带电部分或运动部分，但不能防止有意识地接触这些部分
2	防止直径大于 12mm 的固体	能防止直径大于 12mm 固体进入壳内，能防止手触及壳内的带电部分或运动部分
3	防止直径大于 2.5mm 的固体	能防止直径大于 2.5mm 的固体异物进入壳内，能防止厚度（或直径）大于 1mm 的工具、金属线等触及壳内带电部分或运动部分
4	防止直径大于 1mm 的固体	能防止直径大于 1mm 的固体异物进入壳内，能防止厚度（或直径）大于 1mm 的工具、金属线等触及壳内带电部分或运动部分
5	防尘	能防止灰尘进入达到影响产品运行的程度，完全防止触及壳内带电部分或运动部分
6	尘密	完全防止灰尘进入壳内，完全防止触及壳内带电部分或运动部分

② 第二类防护形式：防止水进入内部达到有害程度的防护。第二类防护形式的分级方式及定义见表2-8。

表2-8 第二类防护形式的分级方式及定义

防护等级	简　称	定　义
0	无防护	没有专门的防护
1	防滴	垂直的滴水应不能直接进入产品内部
2	15°防滴	与铅垂线成15°角范围内的滴水应不能直接进入产品内部
3	防淋水	任何方向的喷水对产品应无有害影响
4	防溅	猛烈的海浪或强力喷水对产品应无有害影响
5	防喷水	任何方向的喷水对产品应无有害影响
6	防海浪或强力喷水	猛烈的海浪或强力喷水对产品应无有害影响
7	浸水	产品在规定的压力和时间内浸在水中，进水量应无有害影响
8	潜水	产品在规定的压力下长时间浸在水中，进水量应无有害影响

表明产品外壳防护等级的标志由字母“IP”及两个数字组成。第一位数字表示上述第一类防护形式的等级，第二位数字表示上述第二类防护形式的等级。如需单独标志第一类防护形式的等级时，被略去的数字的位置应以字母“X”补充。如IP5X表示第一类防护形式5级，IPX3表示第二类防护形式3级。

（2）安全类别

低压电器安装类别应与电气主接线中使用的位置级别有关。低压电器安装类别共分4级：I级为信号水平级，II级为负载水平级，III级为配电及控制水平级，IV级为电源水平级。

控制电路的电器只能用于I级，而所有品种的低压电器都可以用于II、III级，接触器、电动机启动器、控制电路电器则不能用于IV级。

2.3.2 变频调速系统配套电气设备的选用

变频器外部主电路如图2-16所示。

1．刀开关

刀开关的图形、文字符号如图2-17所示。刀开关是手动电器中结构最简单的一种，主要用作电源隔离开关，也可用来非频繁地接通和分断容量较小的低压配电线路。接线时应将电源线接在上端，负载接在下端，这样拉闸后刀片与电源隔离，可防止意外事故发生。

（1）刀开关的选择

选择刀开关时应考虑以下3个因素。

① 刀开关结构形式的选择：应根据刀开关的作用和装置的安装形

式来选择是否带灭弧装置，在分断负载电流时，应选择带灭弧装置的刀开关。刀开关的安装形式有：正面、背面或侧面操作形式，直接操作或杠杆传动，板前接线、板后接线。

② 刀开关额定电流的选择：一般应等于或大于所分断电路中各个负载额定电流的总和。对于电动机负载，应考虑其启动电流，所以应选用额定电流大一级的刀开关。若再考虑电路出现的短路电流，还应选用额定电流更大一级的刀开关。

③ 刀开关所在线路的三相短路电流不应超过规定的动、热稳定值。

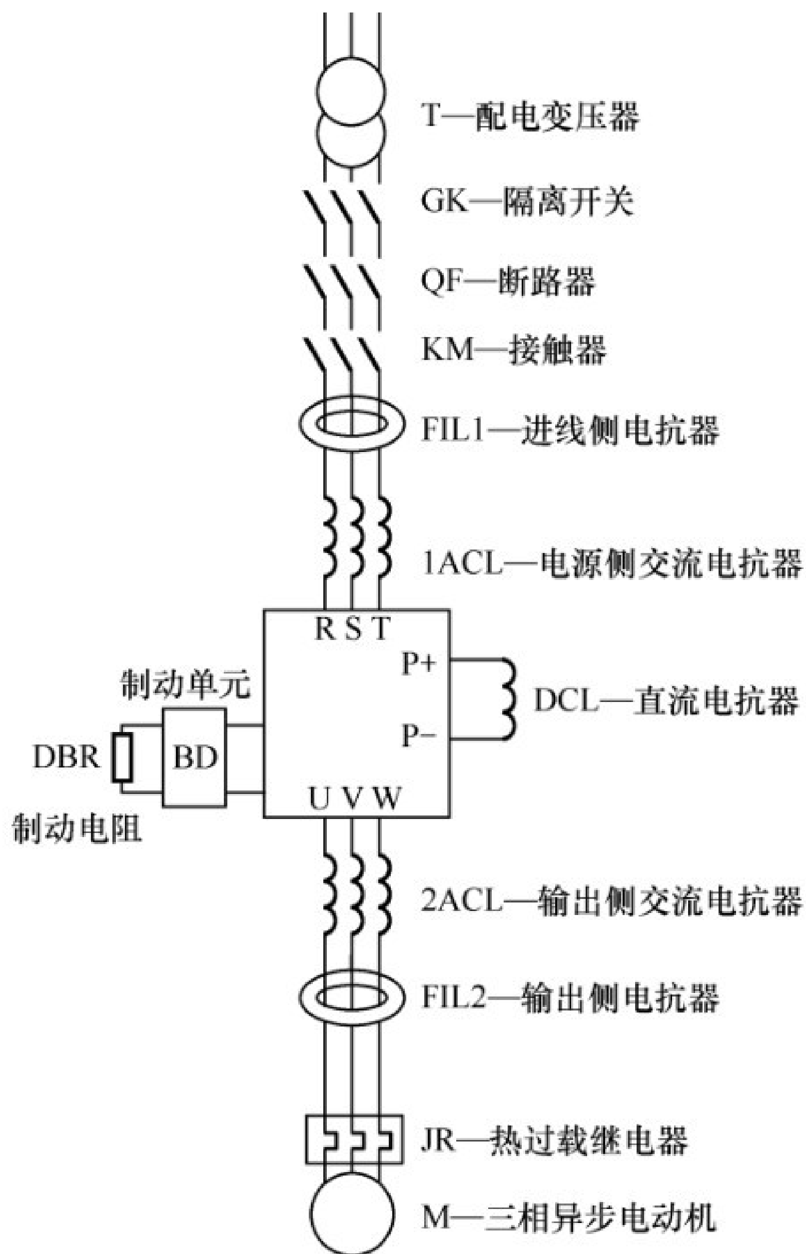


图2-16 变频器外部主电路

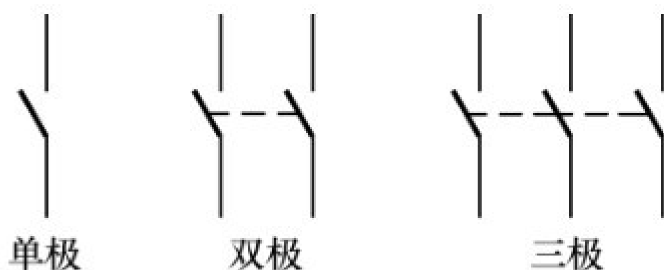


图2-17 刀开关的图形、文字符号

（2）刀开关的安装要点

① 刀开关应垂直安装并保证操作安全，使开关闭合操作时的手柄操作方向从下向上合，断开操作时的手柄操作方向从上向下分，不允许平装或倒装，以防止产生误合闸。

② 接线时电源进线应接在开关上面的进线端子上，用电设备接在开关下面的出线端子上，使开关分断后闸刀上不带电。

2．断路器

断路器可用来接通和分断负载电路，也可用来控制不频繁启动的电动机。它的功能相当于闸刀开关、过电流继电器、失压继电器、热继电器及漏电保护器等的部分或全部功能的总和，是配电网中一种重要的保护电器。断路器具有多种保护功能（过载、短路、欠电压保护等），具有动作值可调、分断能力高、操作方便、安全等优点，所以目前被广泛应用。

（1）断路器的结构和工作原理

断路器由操作机构、触点系统、保护装置（各种脱扣器）、灭弧系统等组成。低压断路器的工作原理如图2-18所示。断路器的主触点是靠手动操作或电动合闸的。主触点闭合后，自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈和电源并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁吸合，使自由脱扣机构动作，主触点断开主电路。当电路过载时，热脱扣器的热元件发热使双金属片向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠电压时，欠电压脱扣器的衔铁释

放，也使自由脱扣机构动作。分励脱扣器则用于远距离控制，在正常工作时其线圈是断电的，在需要远距离控制时，按下启动按钮，使线圈通电，衔铁带动自由脱扣机构动作，使主触点断开。

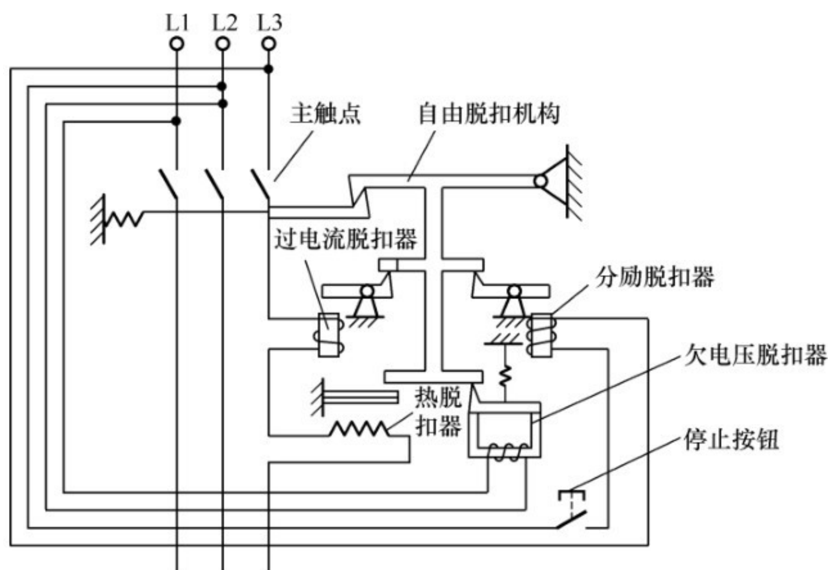


图2-18 低压断路器工作原理图

（2）断路器的典型产品

断路器的分类方法如下。

① 按极数分：单极、双极、三极和四极。

② 按保护形式分：电磁脱扣器式、热脱扣器式、复式脱扣器式和无脱扣器式。

③ 按分断时间分：一般式和快速式（先于脱扣机构动作，脱扣时间在0.02s以内）。

④ 按结构形式分：塑壳式、框架式、限流式、直流快速式、灭磁式和漏电保护式。

断路器的主要分类方法是按结构形式分类，即开启式和装置式两种。开启式又称为框架式或万能式，装置式又称为塑料壳式。

① 装置式断路器。装置式断路器有绝缘塑料外壳，内装触点系

统、灭弧室及脱扣器等，可手动或电动（对大容量断路器而言）合闸，有较高的分断能力和动稳定性，有较完善的选择性保护功能，广泛用于配电线路。目前常用的有DZl5、DZ20、DZXl9和C45N（目前已升级为 C65N）等系列产品。其中 C45N（C65N）断路器具有体积小、分断能力高、限流性能好、操作轻便、型号规格齐全、可以方便地在单极结构的基础上组合成双极、三极、四极断路器等优点，广泛应用在60A及以下的民用照明支干线及支路中（多用于住宅用户的进线开关及商场照明支路开关）。

② 框架式低压断路器。框架式断路器一般容量较大，具有较高的短路分断能力和较高的动稳定性，适合在交流50Hz、380V额定电流的配电网络中作为配电干线的主保护。

框架式低压断路器主要由触点系统、操作机构、过电流脱扣器、分励脱扣器、欠电压脱扣器、附件及框架等部分组成，全部组件进行绝缘后装于框架结构的底座中。

目前我国常用的框架式低压断路器有DW15、ME、AE、AH等系列。DW15系列断路器是我国自行研制生产的，全系列具有1000、1500、2500和4000A等几个型号。

ME、AE、AH等系列断路器是采用引进技术生产的，它们的规格型号较为齐全（ME开关电流等级从630A到5000A共有13个等级），额定分断能力较DW15更强，常用于低压配电干线的主保护。

（3）断路器的选用原则

断路器是配电网络和电力拖动系统中一种非常重要的电器。它具有操作安全、使用方便、工作可靠、安装简单、动作值可调、分断能力较高、兼有多种保护功能、动作后不需要更换元件等优点。断路器的选用原则如下。

① 根据线路对保护的要求，确定断路器的类型和保护形式，确定选用框架式、装置式或限流式等。

② 断路器的额定电压U_N 应等于或大于被保护线路的额定电压。

③ 有欠电压脱扣器的开关，其欠电压脱扣器的额定电压应不小于

线路的额定电压。

④ 断路器的额定电流及过电流脱扣器的额定电流应大于或等于被保护线路的计算电流。

⑤ 断路器的极限分断能力应大于线路的最大短路电流的有效值。

⑥ 配电线路中的上、下级断路器的保护特性应协调配合，下级的保护特性曲线应位于上级保护特性曲线的下方且不相交。

⑦ 断路器的长延时脱扣电流应小于导线允许的持续电流，长延时电流整定值等于电动机额定电流。6 倍长延时电流整定值的可返回时间应等于或大于电动机实际启动时间。按启动时负载的轻重，选用可返回时间为1s、3s、5s、8s、15s中的某一挡。

⑧ 有热脱扣器的断路器，其热脱扣器的整定电流应当与所控制负载的额定电流一致。

⑨ 有电磁脱扣器的断路器，其电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应不小于负载电路正常工作时的峰值电流。

⑩ 对于保护异步电动机的断路器，其瞬时整定电流为电动机额定电流的 8～15 倍；对于保护绕线式电动机的断路器，其瞬时整定电流为电动机额定电流的3～6倍。

变频调速系统主电路中断路器的主要作用是隔离和保护，用于在变频器主电路故障时安全跳闸断开变频器电源。断路器可按下式选择。

I_{QN} ≥1.3I_N （2-50）

式中：I_N 为变频器的额定电流。

断路器的负载端可以接一台或多台变频器及其他负载，当变频器或其他负载发生短路故障时，断路器可自动切断电源供电，防止事故扩大。当电网失电时防止再来电自动接通变频器的电源而引发电气或机械事故，在变频调速系统检修时可用断路器安全切断电源。断路器可以使用普通断路器或高性能的电动机专用断路器。

对单台电动机来说，瞬时脱扣整定电流I_Z 可按下式计算。

I_Z ≥K×I_{st} （2-51）

式中：K为安全系数，可取1.5～1.7；I_{st} 为电动机的启动电流。

对多台电动机来说，可按下式计算。

$$I_Z \geqslant K(I_{st\max} + \sum I_n) \qquad (2\text{-}52)$$

式中：K取1.5～1.7；I_{stmax} 为其中容量最大的一台电动机的启动电流；ΣI_n 为其余电动机额定电流的总和。

（4）DZ15系列断路器

DZ15系列断路器是全国统一设计的系列产品，适用于交流50Hz或60Hz、电压在500V及以下、电流为 40～100A 的电路中作为配电、电动机和照明电路的过载及短路保护，亦可用于线路的不频繁转换和电动机不频繁启动。DZ15系列断路器型号的含义如图2-19所示。

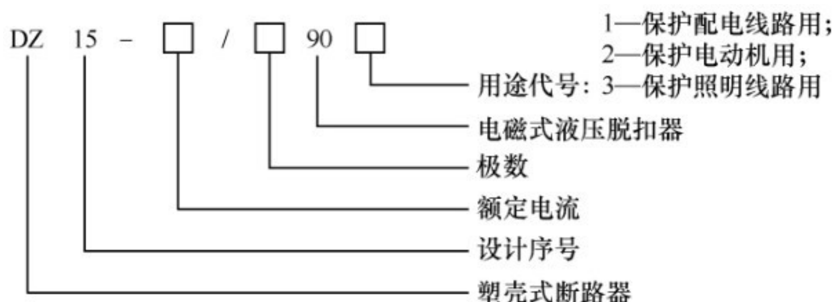


图2-19 DZ15系列断路器型号含义

（5）DZ20系列断路器

DZ20系列断路器是全国统一设计的系列产品，适用于交流50Hz或60Hz、额定电压在500V及以下或直流额定电压为220V及以下、额定电流为100～1250A的电路中作为配电、线路及电源设备的过载、短路和欠电压保护装置，额定电流为200A及以下和400Y型的断路器亦可作为保护电动机的过载、短路和欠电压保护装置。在正常情况下，断路器可用于线路的不频繁转换和电动机不频繁启动。DZ20系列断路器型号的含义如图2-20所示。

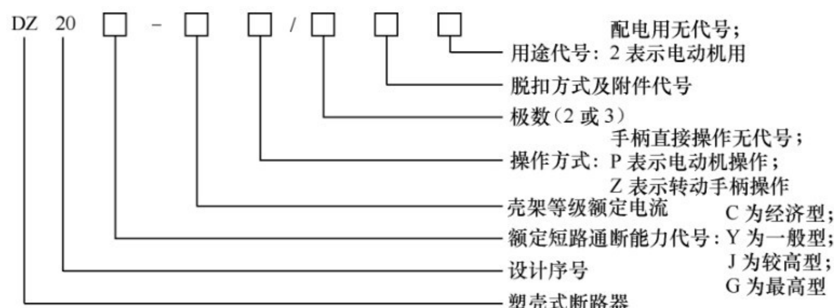


图2-20 DZ20系列断路器型号含义

（6）3VE系列断路器

3VE系列断路器是引进德国西门子公司的技术生产的产品，适用于交流50Hz或60Hz、电压为660V及以下、电流为20～63A的电路中，作为小容量电动机和线路的过载及短路保护用，并可在正常情况下用于不频繁操作线路的转换和电动机的直接启动。

3VE系列断路器主要由操作机构、触点系统、灭弧装置、热脱扣器、电磁脱扣器、绝缘基座和塑料外壳组成。脱扣器具有温度补偿装置，故在正常工作条件下，其保护特性不受环境温度影响。3VE1、3VE3、3VFA型断路器分别为按钮操作、旋钮操作和手柄操作。断路器可采用板前安装方式，3VE1、3VE3亦可采用底板上设置的标准安装导轨嵌卡安装。

（7）S060系列断路器

S060系列断路器是引进德国BBC公司的技术生产的产品，适用于50Hz或60Hz、电压至 415V、电流为50A及以下的电路，作为照明线路、电动机的过载及短路保护用，其主要由触点系统、灭弧装置、执行机构、热脱扣器、电磁脱扣器及塑料外壳等组成。按极数分有单极、双极、三极及四极，二极以上的断路器由单极的通过联动机构连接而成，断路器安装在标准导轨上。按保护特性分为两种：一是“L”特性，即线路保护特性；二是“C”特性，即电动机保护特性。

（8）CM2、CM2Z系列塑壳式断路器

CM2系列、CM2Z系列塑壳式断路器采用国际先进设计技术，根

据IEC60947-2国际新标准的要求开发的新型断路器。其额定绝缘电压为800V，适合在额定工作电压为690V及以下、交流50Hz、额定电流在630A以下的电路中用于不频繁转换线路及电动机的不频繁启动。该断路器具有过载、短路和欠电压保护功能，能保护线路和电源设备不受损坏。断路器的短路分断能力级别有L（标准型）、M（较高分断型）、H（高分断型）；断路器可垂直安装（即竖装），亦可水平安装（即横装）。断路器的使用条件如下。

① 周围空气温度为－5～＋40℃，且24h的平均值不超过＋35℃。

② 安装地点的海拔不超过2000m。

③ 安装地点空气的相对湿度在最高温度为＋40℃时不超过50%，在较低温度下可以有较高的相对湿度，例如20℃时达90%。考虑到因温度变化偶尔产生的凝露，应采取特殊措施。

④ 污染等级为3级。

⑤ 断路器主电路及连接到主电路上的控制电路和辅助电路的安装类别为III，不接至主电路的控制电路和辅助电路的安装类别为II。

⑥ 断路器应安装在无爆炸危险和无导电尘埃、不足以腐蚀金属和破坏绝缘的地方。

⑦ 断路器应安装在没有雨雪侵袭的地方。

CM2系列、CM2Z系列断路器采用新型灭弧技术和限流原理，不同分断级别（L、M、H）的分断能力提高了一个等级。

CM2、CM2Z系列断路器闭合时或在运行时，若遇短路大电流，由后备磁脱扣实现快速脱扣，限制短路电流，并确保断路器可靠分断。CM2系列、CM2Z系列断路器加装零飞弧罩，可实现零飞弧。

CM2系列热磁型脱扣器可实现热磁可调，现场可整定过载、瞬动的动作值，过载保护调节范围为（0.8～0.9～1.0）I_n。其瞬时保护调节范围为：配电型断路器为（5～6～7～8～9～10）I_n，电动机型断路器为（10～12～14）I_n。

CM2Z 系列智能型脱扣器具有过载长延时、短路短延时（可开启/关闭）、短路瞬时基本的三段保护功能，并具有接地故障（可开

启/关闭）、热模拟（可开启/关闭）保护功能、预报警（可开启/关闭）功能，电动机型断路器还具有不平衡保护功能（可开启/关闭）。面板液晶显示清晰、直观，并可实现多种调阅、检查、整定等功能。

CM2Z 系列塑壳式断路器的过载长延时、短路短延时（可开启/关闭）、瞬时、接地故障（可开启/关闭）保护参数可连续可调，真正实现了配电保护的全面性。CM2Z 系列塑壳式断路器具有模块化通信功能，通过加装通信模块即可方便升级为通信型断路器。CM2Z系列塑壳式断路器具有多级功能菜单，可实时显示各相电流，并在不通电状态下也可通过CM2Z专用测试器进行测试整定。

CM2、CM2Z系列断路器的各类附件为模块式，不用打开断路器，可现场直接安装。CM2、CM2Z系列不仅综合性能优异，而且满足绿色电器的要求，外壳采用全新的塑料，不可回收材料的使用降到最低程度，符合欧盟环保指令。

3．接触器

接触器是一种用来自动接通或断开大电流电路的电器。它可以频繁地接通或分断交、直流电路，并可实现远距离控制。其主要控制对象是电动机，也可用于控制电热设备、电焊机、电容器组等其他负载。它还具有低电压释放保护功能，具有控制容量大、过载能力强、寿命长、设备简单经济等特点，是电力拖动自动控制线路中使用最广泛的电气元件。按照所控制电路的种类，接触器可分为交流接触器和直流接触器两大类。

交流接触器常用于远距离接通和分断电压至660V、电流至600A的交流电路，以及用于频繁启动和控制交流电动机的场合。由于交流电路的使用场合比直流电路广泛，交流电动机在工厂中的应用特别多，所以交流接触器的品种和规格更为繁多，常用的有CJ20、B、3TB、LCl-D与CJ40等系列交流接触器。其中CJ20为我国20世纪70年代后期到80年代完成的更新换代产品，B、3TB、LCl-D系列为同期引进国外技术制造的产品。CJ40系列为20世纪90年代跟踪国外新技术，自行开发、设计、试制的产品，达到国外20世纪80年代末90年

代初的水平，现已完成63A、80A、100A、125A、160A、200A、250A、315A、400A、500A共10个电流等级，最大容量可达800A。常见接触器的使用类别代号和典型用途见表2-9。

表2-9 常见接触器的使用类别代号和典型用途

触点	电流种类	使用类别代号	典型用途举例
主触点	AC（交流）	AC-1	无感或微感负载、电阻炉
		AC-2 AC-3 AC-4	绕线转子异步电动机的启动、制动 笼型异步电动机的启动、运转中的分断 笼型异步电动机的启动、点动、反接制动、反转
	DC（直流）	DC-1 DC-2 DC-5	无感或微感负载、电阻炉 并励直流电动机的启动、点动和反接制动 串励直流电动机的启动、点动和反接制动

（1）交流接触器的结构与工作原理

图2-21为典型交流接触器的外形与结构示意图。交流接触器由以下4部分组成。

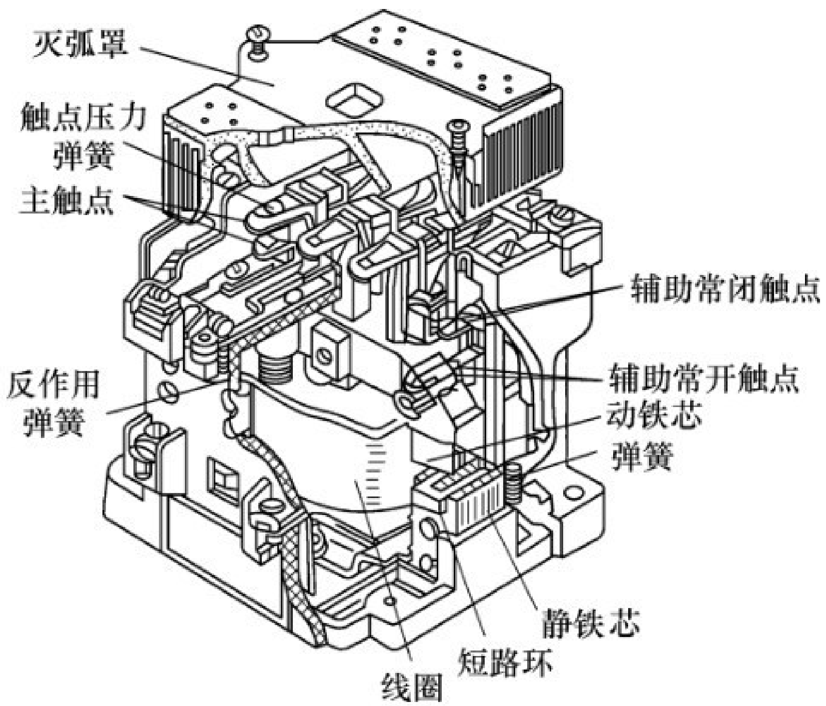


图2-21 CJ10-20型交流接触器

① 电磁机构。电磁机构由线圈、动铁芯（衔铁）和静铁芯组成，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力，带动触点动作。

② 触点系统。触点系统包括主触点和辅助触点：主触点用于通断主电路，通常为 3 对常开触点；辅助触点用于控制电路，起电气连锁作用，故又称连锁触点，一般为常开、常闭各两对。

③ 灭弧装置。容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置，小容量的接触器常采用双断口触点灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧方式。大容量的接触器多采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧方式。

④ 其他部件。其他部件包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等。

电磁式接触器的工作原理如下：线圈通电后，在铁芯中产生磁通及电磁吸力，此电磁吸力克服弹簧反力使得衔铁吸合，带动触点机构动作，常闭触点断开，常开触点闭合，形成互锁或接通线路。线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧反力，使得衔铁释放，触点机构复位，断开线路或解除互锁。

（2）交流接触器的分类

交流接触器的种类很多，其分类方法也不尽相同，大致有以下几种。

① 按主触点极数，可分为单极、双极、三极、四极和五极接触器。单极接触器主要用于单相负荷，如照明负荷、焊机等，在电动机能耗制动中也可采用；双极接触器用于绕线式异步电动机的转子回路中，启动时用于短接启动绕组；三极接触器用于三相负荷，例如在电动机控制及其他场合中的应用最为广泛；四极接触器主要用于三相四线制的照明线路，也可用来控制双回路电动机负载；五极接触器用来组成自耦补偿启动器或控制双笼型电动机，以变换绕组接法。

② 按灭弧介质，可分为空气式接触器和真空式接触器等。依靠空气绝缘的接触器用于一般负载，而采用真空绝缘的接触器常用在煤矿、石油、化工企业及电压为 660V 和 1140V等的一些特殊场合。

③ 按有无触点，可分为有触点接触器和无触点接触器。常见的接

触器多为有触点接触器，而无触点接触器属于采用电力电子技术的产品，一般采用晶闸管作为回路的通断器件。由于晶闸管导通时所需的触发电压很小，而且回路通断时无火花产生，因而可用于高操作频率的设备和易燃、易爆、无噪声的场合。

（3）交流接触器的基本参数

① 额定电压：这里指主触点的额定工作电压，应等于负载的额定电压。一个接触器常规定有几个额定电压，同时列出相应的额定电流或控制功率。通常，最大工作电压即为额定电压，常用的额定电压值为220V、380V、660V等。

② 额定电流：接触器触点在额定工作条件下的电流值。常用额定电流等级为5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A。

③ 通断能力：可分为最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触点闭合时不会造成触点熔焊时的最大电流值，最大分断电流是指触点断开时能可靠灭弧的最大电流。一般通断能力是额定电流的5~10倍。当然，这一数值与开断电路的电压等级有关，电压越高，通断能力越小。

④ 动作值：可分为吸合电压和释放电压。吸合电压是指接触器吸合前，缓慢增加吸合线圈两端的电压，接触器可以吸合时的最小电压。释放电压是指接触器吸合后，缓慢降低吸合线圈两端的电压，接触器释放时的最大电压。一般规定，吸合电压不低于线圈额定电压的85%，释放电压不高于线圈额定电压的70%。

⑤ 吸引线圈额定电压：接触器正常工作时吸引线圈上所加的电压值。一般该电压数值与线圈的匝数、线径等数据均标于线圈上，而不是标于接触器的铭牌上，使用时应加以注意。

⑥ 操作频率：接触器在吸合瞬间，吸引线圈需消耗比额定电流大5~7倍的电流，如果操作频率过高，则会使线圈严重发热，直接影响接触器的正常使用，为此，规定了接触器的允许操作频率，一般为每小时允许操作次数的最大值。

⑦ 寿命：包括电寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命已达1

000万次以上，电气寿命是机械寿命的5%～20%。

（4）接触器的符号与型号

接触器的图形、文字符号如图2-22所示，接触器的型号含义如图2-23所示。

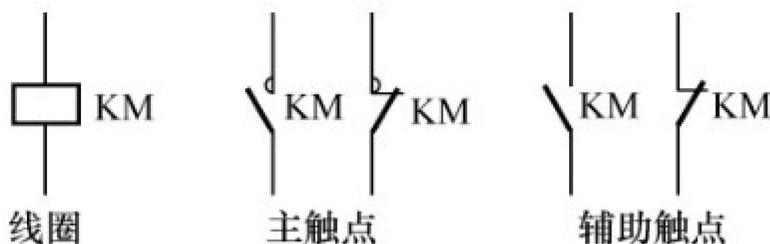


图2-22 接触器的图形、文字符号

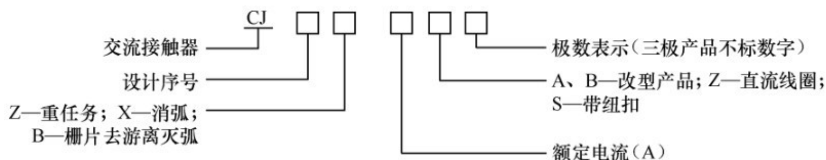


图2-23 接触器的型号含义

例如：CJ10Z-40/3交流接触器的设计序号为10，重任务型，额定电流为40A，主触点为三极。CJ12T-250/3为改型后的交流接触器，设计序号为12，额定电流为250A，3个主触点。

我国生产的交流接触器常用的有CJ10、CJ12、CJX、CJ20等系列及其派生系列产品，其中CJ0系列及其改型产品已逐步被CJ20、CJX系列产品取代。上述系列产品一般具有3对常开主触点和两对常开、常闭辅助触点。常用的直流接触器有CZ0系列，分单极和双极两大类，常开、常闭辅助触点各不超过两对。

除以上常用系列外，我国近年来还引进了一些生产线，生产了一些满足IEC标准的交流接触器。如CJl2B-S系列锁扣接触器，可用于交流50Hz、电压为380V及以下、电流为600A及以下的配电电路中，供远距离接通和分断电路用，并适宜于不频繁地启动和停止交流电动机，具有正常工作时吸引线圈不通电、无噪声等特点。其锁扣机构位

于电磁系统的下方，靠吸引线圈通电，吸引线圈断电后靠锁扣机构保持在锁住位置。由于线圈不通电，不仅无电力损耗，而且消除了电磁噪声。

由德国西门子公司引进的3TB系列和由BBC公司引进的B系列交流接触器等主要供远距离接通和分断电路用，并适用于频繁地启动及控制交流电动机。3TB系列产品具有结构紧凑、机械寿命和电气寿命长、安装方便、可靠性高等特点，其额定电压为220～660V，额定电流为9～630A。

（5）接触器的选用

接触器的选用原则如下。

① 根据所控制的电动机及负载电流类别选用接触器的类型。

② 接触器主触点的额定电压应大于或等于负载回路的额定电压。

③ 接触器主触点的额定电流应大于或等于负载回路的额定电流。

④ 根据吸引线圈的额定电压选用不同种类的接触器，接触器的吸引线圈分交流线圈（36V、110V、127V、220V、380V）和直流线圈（24V、48V、110V、220V、440V）两种。

交流接触器应根据负荷的类型和工作参数合理选用，具体分为以下步骤。

① 选择接触器的类型。交流接触器按负荷种类一般分为一类、二类、三类和四类，分别记为 AC-1、AC-2、AC-3 和 AC-4。一类交流接触器对应的控制对象是无感或微感负荷，如白炽灯、电阻炉等；二类交流接触器用于绕线式异步电动机的启动和停止；三类交流接触器用于笼型异步电动机的运转和运行中分断；四类交流接触器用于笼型异步电动机的启动、反接制动、反转和点动。

② 选择接触器的额定参数。根据被控对象和工作参数，如电压、电流、功率、频率及工作制等，确定接触器的额定参数。

接触器的线圈电压一般应低一些，这样接触器的绝缘要求可以降低，使用时也较安全。但为了方便和减少设备，常按实际电网电压选取。

电动机的操作频率不高（如压缩机、水泵、风机、空调器、冲床

等）时，接触器的额定电流大于负荷的额定电流即可。接触器的类型可选用CJ10、CJ20等。

对于重任务型电动机，如机床主电动机、升降设备、绞盘、破碎机等，其平均操作频率超过100次/分钟，运行于启动、点动、正反向制动、反接制动等状态，可选用CJ10Z、CJ12型接触器。为了保证电寿命，可使接触器降容使用。选用时，接触器的额定电流大于电动机的额定电流。

对于特重任务型电动机，如印刷机、镗床等，其操作频率很高，可达 600～12000 次/小时，经常运行于启动、反接制动、反向等状态，接触器大致可按电寿命及启动电流选用，选用CJ10Z、CJ12等型号。

接触器的额定电流是指接触器长期工作时的最大允许电流，持续时间不大于8h，且安装于敞开的控制板上。如果冷却条件较差，选用接触器时，接触器的额定电流按负荷额定电流的 110%～120%选取。对于长时间工作的电动机，由于其氧化膜没有机会得到清除，使接触电阻增大，导致触点发热超过允许温升，实际选用时可将接触器的额定电流减小30%使用。

变频调速系统主电路中接触器的主要作用是：通过按钮开关方便地控制变频器电源的通电与断电；变频器发生故障时，可自动切断电源。如果用于电源的日常通断操作和电网掉电后再来电时变频器不发生自启动，接触器可按下式选择。

I_{KN} ≥1.5I_N （2-53）

式中：I_{MN} 为接触器的额定电流；I_N 为变频器的额定电流。

在变频器之前加装接触器一般只在变频器功率较大时采用，变频器的报警触点串联在接触器的控制回路中。在变频器在上电给主电容充电时，为了限制充电电流，通常在主回路中串联一个限流电阻。通常采取延时（一般 3～4s）或检测主回路电压的方法控制变频器内部接触器吸合（小功率的是晶闸管）短接限流电阻，如果变频器内部的接触器因故没有吸合，则限流电阻会很快过热而损坏，对此变频器内

部设有一个检测电路。如果此内部接触器没吸合，则报警，从而使变频器电源端的接触器断开，以保护变频器。在设计时变频器的控制电源应取自变频器电源端接触器之前、断路器之后，当因故障断开变频器电源端接触器或人工切断变频器电源端接触器时，由于变频器的控制电源取自其前端，变频器的控制单元仍可正常工作，故障时可发出报警信息。

在操作变频调速系统时，变频器电源端的接触器不可用于变频器日常运行的启停操作，应使用变频器的键盘或外部控制电路控制变频器的启停。如果用变频器电源端接触器来直接启停，则会出现以下问题。

① 由于变频器启动时需要一个主电容充电时间，如果用变频器电源端接触器来直接启动，此时变频器立即就有输出（带负载），而此时变频器的主电容尚未充足电。

② 变频器内部保护电路会检测到失电而在报警内容中记录LU（低电压），占用变频器记录报警信息的内存空间。一般变频器的故障记录到一定的条数后就不再记录了（一般为 5条左右），必须清除掉才能记录新的故障。

若变频器输出端和电动机之间装有接触器，采用该接触器启停电动机，将产生操作过电压，对变频器造成损害，因此，原则上不要在变频器输出端与电动机之间装设接触器。当变频器用于下列工况时，仍有必要在变频器输出端和电动机之间装设接触器。

① 用于节能控制的变频调速系统，电动机以额定转速运行，为实现经济运行需切除变频器时。

② 参与重要工艺流程，不能长时间停运，需切换至备用控制系统以提高系统的可靠性时。

③ 若用一台变频器控制多台电动机（包括互为备用的电动机），在变频器输出端和电动机之间设置接触器时，应在控制电路中设有避免接触器在变频器有输出时动作的连锁电路。

（6）CJ20系列交流接触器

CJ20系列交流接触器适用于交流50Hz、电压至660V、电流为

630A以下的电力系统，供远距离接通和分断线路以及频繁地启动和控制电动机用。其机械寿命达1000万次，电寿命为120万次，主回路电压为380～660V，部分可达1140V，规格齐全，对于直流控制可考虑特殊订货。

CJ20系列交流接触器为直动式，主触点为双断点，磁系统为U形，采用优质吸震材料进行缓冲，动作可靠。接触器采用铝基座和陶土灭弧罩，性能可靠。辅助触点采用通用辅助触点，根据需要可制成各种不同组合以适应不同需要。该系列接触器的优点是体积小，质量小，易于维修保养，安装面积小，噪声低等。CJ20系列交流接触器的型号含义如图2-24所示。

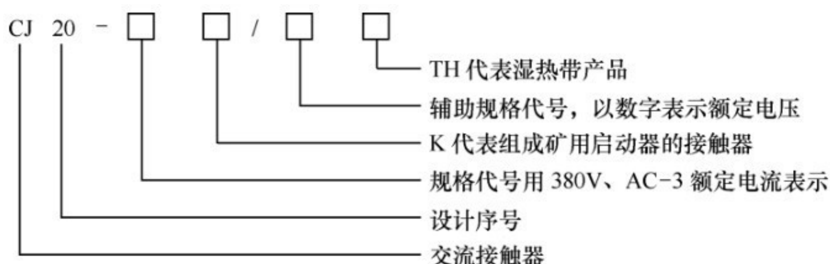


图2-24 CJ20系列交流接触器型号含义

（7）B系列交流接触器

B系列交流接触器是引进德国BBC公司生产线和技术生产的交流接触器，该系列接触器的工作原理与我国现有的交流接触器相同，但因采用了合理的结构设计、合理的尺寸参数的配合和选择，各零件按其功能选用最合适的材料和采用先进的加工工艺，故产品具有较高的技术经济指标。B系列接触器具有正装式结构与倒装式结构两种布置方式。

① 正装式结构。正装式结构的触点系统在前面，磁系统在后面靠近安装面，属于这种结构形式的产品有B9、B12、B16、B25、B30、B460及K型7种。

② 倒装式结构。倒装式结构的触点系统在后面，磁系统在前面。这种布置由于磁系统在前面，便于更换线圈；由于主接线端靠近安装

面，接线距离短，能方便接线；便于安装多种附件，如辅助触点、TP型气囊式延时继电器、VB型机械连锁装置、WB型自锁继电器及连接件，从而扩大使用功能。本系列中B37-B370的8档产品均属此种结构。

另外，接触器各零部件和组件的连接多采用卡装方式或用螺钉组件连接，接触器均有附件的卡装结构，而且B系列接触器通用件多，零部件基本通用，并有多种电压线圈供用户选用。

B系列交流接触器适用于交流50Hz或60Hz、额定电压至660V、额定电流至475A的电力线路，供远距离接通与分断电路或频繁地控制交流电动机启动、停止用，它具有失压保护作用，常与T系列热继电器组成电磁启动器，此时具有过载及断相保护作用。B系列交流接触器的型号含义如图2-25所示。

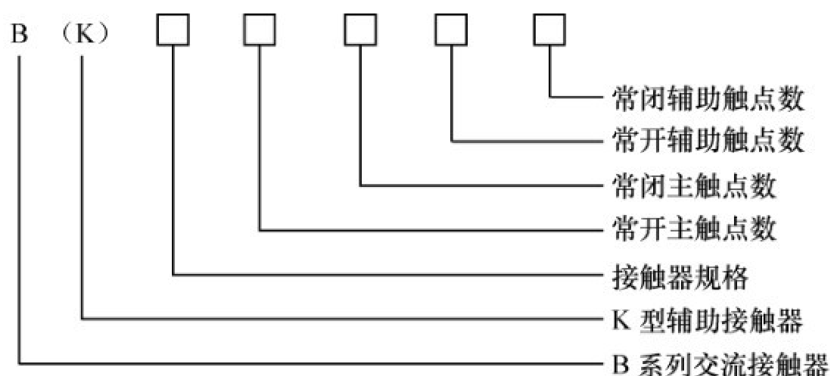


图2-25 B系列交流接触器的型号含义

（8）3TB系列交流接触器

3TB　系列接触器是引进德国西门子公司专有制造技术生产的产品，适用于交流 50Hz 或60Hz。其中，3TB40～3TB44型的额定工作电流为9～32A，额定绝缘电压为600V；3TB46～3TB58型的额定工作电流为80～630A，额定绝缘电压为750～1000V。该系列接触器主要供远距离接通和分断电路用，并适用于频繁地启动和控制交流电动机。该系列接触器可与 3UA5 系列热继电器组成电磁启动器。

3TB系列交流接触器为E形铁芯、双断点触点的直动式运动结构，辅助触点为一常开一常闭或二常开二常闭。它可直接装于接触器整体结构之中，也有做成辅助触点组件附于接触器整体两旁的。接触器动作机构灵活，手动检查方便，结构设计紧凑。接线端处都有端子盖覆盖，可确保使用安全。接触器外形尺寸小巧，所需安装面积小，其安装方式可由螺钉紧固，也可借接触器底部的弹簧滑块扣装在35mm或75mm宽的卡轨上。

主触点、辅助触点均为桥式双断点结构，因而具有长寿命的使用性能及较高的接触可靠性。灭弧室均为封闭型，并由阻燃型材料阻挡电弧向外喷溅，以保证人身及邻近电器的安全。

3TB系列交流接触器的磁系统是通用的，电磁铁工作可靠、损耗小、无噪声、机械强度高，线圈的接头处标有电压规格标志，接线方便。3TB40～3TB58 系列接触器的型号含义如图2-26所示。

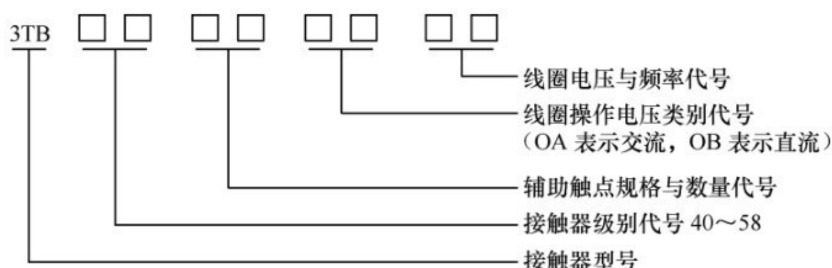


图2-26 3TB40～3TB58系列接触器的型号含义

3TB40～3TB44型接触器的线圈工作电压分为交流线圈41种、直流线圈13种，详细规格如下。

① 50Hz：20V、24V、36V、42V、48V、60V、96V、100V、125V、127V、173V、183V、220V、367V、380V、415V、480V、500V。

② 60Hz：24V、29V、42V、50V、58V、116V、120V、150V、152V、220V、264V、440V、480V、500V、575V、600V。

③ 50/60Hz：24V、116V、220V、440V。

④ 直流：12V、21.5V、24V、30V、36V、42V、48V、60V、

110V、125V、180V、220～230V。

3TB系列交流接触器吸引线圈工作电压的范围是在80%～110%额定电压下能可靠工作。3TB40～3TB47型接触器的触点组合方式分为19种；3TB系列接触器上可装3UA5系列热继电器，装后宽度不增加，因此接触器可并排紧靠安装。

3TB系列接触器在各接线处印有明确的接线端子数字标志，便于用户接线和为电路图编号。它们的含义如下。

① A1：线圈的进线端。

② A：线圈的出线端。

③ 1、3、5（L1、L2、L3）：主电路的三相进线端。

④ 2、4、6（T1、T2、T3）：主电路的三相出线端。

⑤ 13、43：常开辅助触点进线端。

⑥ 14、44：常开辅助触点出线端。

⑦ 21、31：常闭辅助触点进线端。

⑧ 22、32：常闭辅助触点出线端。

（9）LCl-D系列交流接触器

LCl-D系列交流接触器是引进法国TE公司的制造技术生产的，其正常工作条件如下。

① 周围空气温度：－5～ ＋40℃。

② 海拔高度：不超过2000m。

③ 空气相对湿度：在＋40℃时不超过50%，该月的月平均最大相对湿度不超过90%，并考虑因温度变化发生在产品上的凝露。

④ 安装条件：安装面与垂直面的倾斜角不大于±5°，安装和使用在无显著摇动、冲击和振动的地方。

LCl-D系列交流接触器适用于交流50Hz或60Hz，电压为660V、电流为80A以下的电路中，供远距离接通与分断电路及频繁启动、控制交流电动机。接触器还可组装积木式IAI-D系列辅助触点组、IA2-D与LA3-D系列空气延时单元、LC2-D系列机械连锁机构等附件，组成延时接触器、机械连锁接触器、星—三角启动器，并且可以和 LRl-D系列热继电器直接插接、安装而组成电磁启动器。LCl-D系列交流接

触器的型号含义如图2-27所示。

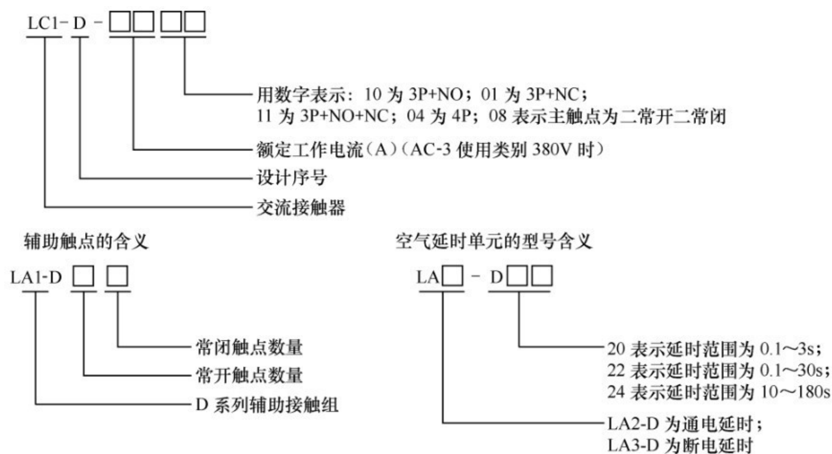


图2-27 LC1-D系列交流接触器的型号含义

4．热继电器

热继电器（FR）主要用于电力拖动系统中电动机负载的过载保护。电动机在实际运行中常会遇到过载情况，但只要过载不严重，时间短，绕组不超过允许的温升，这种过载是允许的。但如果过载情况严重，且时间长，则会加速电动机绝缘的老化，缩短电动机的使用年限，甚至烧毁电动机，因此必须对电动机进行过载保护。

（1）热继电器的结构与工作原理

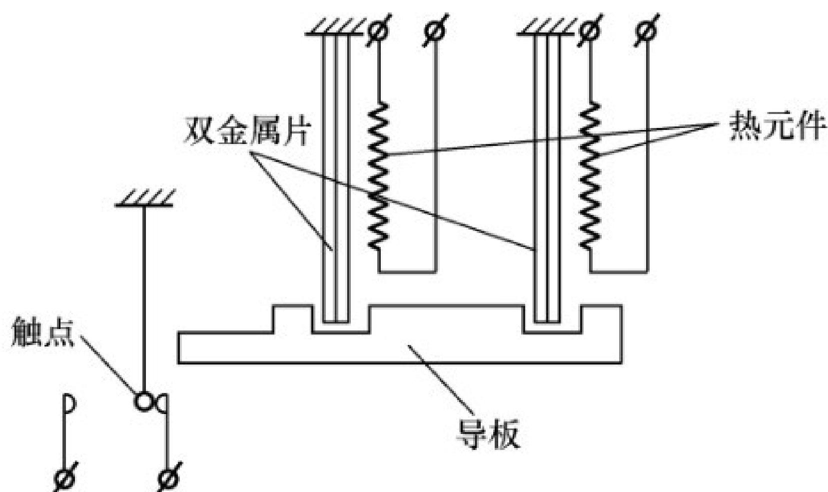


图2-28 热继电器结构示意图

热继电器主要由热元件、双金属片和触点等组成，如图2-28所示。热元件由两种热膨胀系数不同的金属辗轧而成，当双金属片受热时，会出现弯曲变形。使用时，把热元件串接于电动机的主电路中，而常闭触点串接于电动机的控制电路中。

当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使热继电器的触点动作。当电动机过载时，双金属片弯曲位移增大，推动导板使常闭触点断开，从而切断电动机控制电路以起保护作用。热继电器动作后一般不能自动复位，要等双金属片冷却后按下复位按钮时才能复位。热继电器动作电流的调节，可以借助旋转凸轮于不同位置来实现。

（2）热继电器的型号及选用

我国目前生产的热继电器主要有JR0、JR1、JR2、JR9、R10、JR15、JR16等系列。JR1、JR2系列热继电器采用间接受热方式，其主要缺点是双金属片靠热元件间接加热，热耦合较差，双金属片的弯曲程度受环境温度的影响较大，不能正确反映负载的过流情况。JR15、JR16 等系列热继电器采用复合加热方式并采用了温度补偿元件，因此能正确反映负载的工作情况。

JRl、JR2、JR0和JRl5系列的热继电器均为两相结构，是双热元件的热继电器，可以用作三相异步电动机的均衡过载保护和定子绕组为Y接线的三相异步电动机的断相保护，但不能用作定子绕组为△接线的三相异步电动机的断相保护。

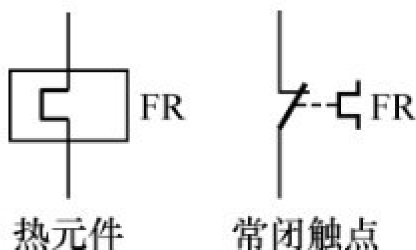


图2-29 热继电器的图形及文字符号

JRl6 和 JR20 系列热继电器均带有断相保护的热继电器，具有差动式断相保护机构。选择时主要根据电动机定子绕组的接线方式来确定热继电器的型号。在三相异步电动机电路中，对Y接线的电动机可选两相或三相结构的热继电器，一般采用两相结构的热继电器，即在两相主电路中串接热元件。对于三相异步电动机，定子绕组为△接线的电动机必须采用带断相保护的热继电器。热继电器的图形及文字符号如图2-29所示。

当变频器使用普通电动机时，PWM 波将导致电动机铁耗、铜耗和绝缘介质损耗增加，温升会比通常应用时大，因此热继电器的温度整定值应按电动机绝缘等级选择。使用电子热继电器保护电动机过载，无疑要优于外加热继电器，对普通电动机可利用其矫正特性解决低速运行时冷却条件恶化的问题，使保护性能更可靠。尤其是新型高性能变频器（如富士 9S系列）现已在用户手册中给出设定曲线，用户可根据工艺条件设定。通常，考虑到变频器与电动机的匹配，电子热继电器可在50%～105%额定电流范围内选择设定。只有在下列情况下，才用常规热继电器代替电子热继电器。

① 所用电动机都不是4极电动机。

② 使用特殊电动机（非标准通用电动机）。

③ 用一台变频器控制多台电动机。

④ 电动机频繁启动。

当变频器选用外部热继电器对电动机实施过载保护时，热继电器应装设于变频器输出侧，装于输入侧的方案起不到保护作用（变频器的变频变压特性使其低频时的输入电流远远小于输出电流）。对于过载保护，应根据设备工艺要求，采用变频器停止命令（断开CM）或空转停车（断开BX）命令实现停车，而不宜通过电源接触器实现。

（3）热继电器的选用

热继电器的一般选用原则如下。

① 用作断相保护时，对于Y接线应采用一般不带断相保护装置的两相或三相热继电器，对于△接线应采用带断相保护装置的继电器。

② 用作长期工作保护或间断长期保护时，根据电动机启动时间，选取 6 倍额定电流（6I_N）以下具有可返回时间的热继电器，其额定电流或热元件整定电流应等于或大于电动机或被保护电路的额定电流。继电器热元件的整定值一般为电动机或被保护电路额定电流的1～1.15倍。

5．电流互感器及电流表的选择

在选择变频调速系统中用于电流检测和电流指示的电流互感器和电流表时，首先要考虑变频器输出频率的变化特性，以降低电流检测及仪表选型上引起的测量误差。变频器输出侧电流测量应使用电磁式仪表，以获得所需的测量精度。选择电流互感器时一般应注意以下几个问题。

① 电流互感器的一次额定电压与其系统的额定电压相符合。

② 电流互感器的一次额定电流应为其正常负载电流的20%～120%。

③ 电流互感器的二次负载，如仪表、继电器所消耗的功率（伏安数）或阻抗不应超过所选择的准确度等级对应的额定容量，否则将使准确度等级降低。

④ 根据测量和保护的要求来选择电流互感器的适当准确度等级。

⑤ 电流互感器的台数可由供电方式和接线方式来确定。

⑥　根据电流互感器装设地点的系统短路容量校验其动、热稳定性。

在变频器输出侧选用普通电流互感器是可以满足输出电流检测精度要求的，由于电流互感器铁芯的磁通密度与交流电流频率的变化成反比，忽略次要因素时，其电流误差（即变化误差）和相位误差可看作与电流频率的变化量成反比，只是当电流频率超过1kHz时，铁芯温度才会升高。但是，由于互感器正常运行时励磁电流设计得很小（主要为了减小误差），因此，普通电流互感器用于50Hz频率附近时，其电流误差是很小的。通过实际校验对比可知，当变频器输出频率在10～50Hz之间变化时，电磁式电流表的指示误差很小，实测误差在1.27%以下，并与电流频率的变化量成反比（以变频器输出电流指示为基准），能够满足输出电流监视的要求。

使用指针式电流表测量变频器输出侧电流时，不应选用整流式仪表。经实测可知变频器输出频率在 19～50Hz 区间时，整流式仪表的指示误差为　69.7%～16.66%，且为负偏差，为此应选用电磁式电流表。因变频器的输入电流一般不大于输出电流，为此，在输入侧设置电流监视意义不大，一般有信号灯指示电源即可，当变频器输入侧电压不稳时可设电压表监视。对于大容量变频器在低频运行时，其输入侧电流表指示无精度。

6．电动机

如果变频调速系统低速时的负载转矩比额定转矩大，则要加大电动机功率和变频器功率才能满足低速运行要求。若电动机长期低速运行，因普通电动机的风扇固定在电动机轴上，风扇已不能有效散热，电动机会严重发热。因此，要加大电动机功率或使用外部风扇为电动机冷却。一般电动机在使用变频器时，因变频器的PWM波有很高的脉冲前后沿，du/dt很大，绕组匝间和对地绝缘很易损坏，这已成为变频器使用中的一个问题。因此，应选用绝缘质量优良的电动机产品。

当高速运行时要注意电动机是否能承受高速离心力，普通电动机的转子离心机械强度是按额定转速设计的。对于转子直径较大的电动

机，不要使用到额定转速的 1.5 倍以上，这时应选用专门的变频电动机。

变频调速电动机一般均选择4极电动机，基频工作点设计在50Hz，在0～50Hz频率（转速为0～1480r/min）范围内电动机作恒转矩运行，在50～100Hz频率（转速为1480～2800r/min）范围内电动机作恒功率运行，整个调速范围为0～2800r/min，基本满足一般驱动设备的要求，其工作特性与直流调速电动机相同，调速平滑稳定。如果要在恒转矩调速范围内提高输出转矩，也可以选择6极或8极电动机，但电动机的体积相对要大一点。

2.3.3 变频调速系统电力电缆的技术特性

根据变频器的使用技术条件，变频调速系统的电力电缆应采用屏蔽电缆或铠装电缆，最好穿金属管敷设。截断电缆的端头应尽可能整齐，未屏蔽的线段尽可能短，电缆长度不宜超过一定的距离（一般为50m）。当变频器与电动机间的接线距离较长时，来自电缆的高次谐波漏电流会对变频器和周边设备产生不利影响。从电动机返回的接地线应直接连接到变频器相应的接地端子上。变频器的接地线切勿与其他动力设备共用，接地线应尽可能短。由于变频器产生漏电流，与接地点太远时会造成变频器接地端子上的电位不稳定。变频器接地线的最小截面积必须大于或等于供电电源电缆的截面积。

为了防止电磁干扰引起变频调速系统误动作，控制电缆应使用绞合屏蔽线或双绞屏蔽电缆，同时不要使屏蔽电缆的屏蔽网接触到其他信号线及设备外壳。为了避免控制电缆受到噪声的影响，控制电缆的长度不宜超过50m。控制电缆和电动机的电力电缆必须分开敷设，使用单独的走线槽，并尽可能相互远离。当二者必须交叉时，应采取垂直交叉。严禁将变频器动力电缆和控制电缆放置在同一个管道或电缆槽中。

1．电源侧电缆

为满足工业环境的一般电磁辐射标准，变频调速系统电源侧电缆

必须是三芯或四芯屏蔽电缆。电缆屏蔽的有效性规则是，屏蔽层越紧密，电磁辐射的水平就越低。可以基于屏蔽层的结构或传输阻抗来评价它的有效性。

① 屏蔽层的结构：电缆的屏蔽层采用铜丝缠绕在三芯或四芯相线的外面，带有一个螺旋形铜带，减小了屏蔽层孔的大小。

② 屏蔽层的传输阻抗：在100MHz以内，传输阻抗必须等于或小于1Ω/m。

2．电动机侧电缆

变频调速系统电动机侧电缆屏蔽必须满足电源侧电缆屏蔽的最低要求。

① 屏蔽层的结构：电缆的屏蔽层至少包括一个铜带重叠的层和铜丝缠绕的层并绕包在三芯或四芯相线的外面，也可选择铜丝编织作为屏蔽层。

② 屏蔽层的传输阻抗：在100MHz以内，传输阻抗必须等于或小于100mΩ/m。

3．电力电缆结构的电磁兼容

IEC 对电磁兼容的定义是“设备或系统在其电磁环境中能工作正常且对环境中任何事物不能构成承受的电磁骚扰的能力”。屏蔽和不屏蔽、对称芯线和不对称芯线、平行芯线的各种电力电缆的EMC评价见表2-10。通过比较发现，3 ＋ 3对称芯线带屏蔽结构的性能最好，经验也表明采用对称屏蔽电缆也可以减小变频调速系统的电磁辐射，以及减小电动机的轴电流和由此引起的轴承磨损。

表2-10 电力电缆的EMC评价

结　构	对 称 性	屏　蔽　层	EMC 评价
	对称 3+3	细铜丝编织屏蔽层	性能最优
	对称 3 芯	细铜丝编织屏蔽层	好

续表

结构	对称性	屏蔽层	EMC 评价
	非对称 4 芯	细铜丝编织屏蔽层	好
	对称 3+3	—	尚好
	非对称 4 芯	—	中等
	非对称 平行芯线或扁电缆	铜编织屏蔽层	中等
	非对称 平行芯线或扁电缆	—	差

4．使用特性

变频专用电缆能有效抑制变频产生的高次谐波、电磁波对输入电源网络及附近电子设备、仪表、无线电设备、传感器、自控装置的干扰，又能防止外界电磁场、电磁波对变频控制系统的影响，并提供优质电源能量。变频专用电力电缆的使用技术条件如下。

① 频率范围：0～300Hz。

② 设计长度：适宜小于100m。

③ 截面积选择：比常规电缆的截面积大1倍。

④ 电缆线芯工作温度：不高于90℃。

⑤ 电缆敷设时的环境温度：不低于0℃。

⑥ 电缆弯曲半径：不小于20D，D为电缆外径（mm）。

⑦ 可根据环境条件生产软芯结构（铜芯）铝芯、铠装型、阻燃、耐火、无卤低烟环保型变频专用电缆。

5．电缆结构形式的选择

（1）电缆的线芯结构

普通电力电缆的线芯为平行绞合结构，且大都呈非对称性。普通结构的电力电缆应用于变频调速系统时会暴露出许多问题。变频系统用电力电缆的线芯结构一般倾向于图2-30（a）所示的三芯电缆和图2-30（b）所示的 3＋3 结构电缆，电缆线芯呈对称形并有屏蔽层。设有屏蔽层的电缆能够有效地抑制内、外界的电磁干扰，屏蔽层屏蔽效

果的好坏常用屏蔽抑制系数来表示，屏蔽抑制系数为零时说明电缆的屏蔽效果最佳。

变频系统用电力电缆常采用的屏蔽方式有：铜丝编织屏蔽、铜带绕包屏蔽、铜丝缠绕屏蔽、铜丝铜带组合屏蔽、铜带纵包屏蔽（分轧纹与不轧纹）、铝带纵包屏蔽（分轧纹与不轧纹）、钢丝铜丝组合屏蔽。纵包结构的屏蔽效果要比绕包结构的好。此外，也有采用铝塑复合带进行绕包或纵包作为屏蔽层的，这种屏蔽层应用到变频系统用电力电缆的结构上是否满足抗电磁干扰的要求还需要在实践中验证。选用何种屏蔽方式要依据电缆的使用场合而定。屏蔽层的截面积一般根据使用要求而定，通常屏蔽层的截面积是相线截面积的50%，也有的要求和相线截面积相等。

普通电力电缆用绝缘材料有PVC、XLPE、ERP、CSM、CR/PCP、NBR等。从材料的绝缘性能（体积电阻、介电常数、介质损耗、介电强度、工作温度等）和弯曲性能等方面来考虑，变频系统用电力电缆使用较多的绝缘材料为XLPE和ERP。

目前变频系统用电力电缆的电压等级均在 6/10kV 以下，市场上用量较大的电压等级为0.6/1kV。变频系统用电力电缆的护套材料多为PVC、ERP、无卤低烟阻燃聚烯烃。

图 2-30（a）所示是一种三芯电缆，它配有同心铜屏蔽层。在此种结构中相线之间以及相线与屏蔽线的距离都是相等的，同时屏蔽层还作为保护导体使用。采用这种结构的电缆和接线方式，应考虑到屏蔽层截面积的大小必须保证电缆能够安全运行。

图2-30（b）所示是一种3 ＋ 3对称结构的电缆，该电缆具有屏蔽层，3根对称导体用作电缆的保护接地线。该类型电缆的屏蔽层采用铜铝纵包加工而成。屏蔽线的一端连接到变频器的保护端上，另一端连接到电动机的保护端上。

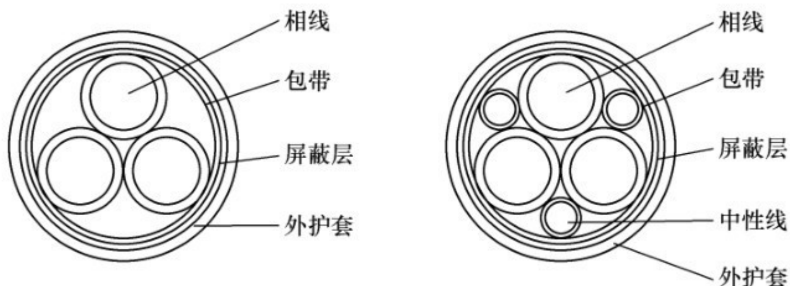


图2-30 变频系统用电力电缆结构示意图

变频系统用电力电缆宜采用对称线芯结构，此外电缆应具有屏蔽层，屏蔽层宜采用屏蔽效果较佳的纵包结构。变频系统用电力电缆在安装时采用整根连接方式，带有中间接头的电缆的抗干扰性能会有所降低。

（2）PHILSHEATH变频系统用电力电缆

PHILSHEATH变频系统用电力电缆是由ANIXTER公司和原BICC公司联合研制开发的，在变频调速系统中得以广泛应用，主要原因是这种电缆采用3根相线＋3根接地线的对称电缆结构，并在电缆的结构中设计了一层纵包焊接波纹铝护套作为屏蔽层（屏蔽层一方面用于防止电磁干扰，另一方面具有极低的传输阻抗）。PHILSHEATH变频系统用电力电缆的具体规范如下。

① 导体：绞制裸退火铜。

② 绝缘：XLPE。

③ 成缆：采用3根相线＋3根接地线的对称电缆结构。

④ 铝护套：采用连续密封纵包焊接的波纹铝护套，加工完成的铝护套必须进行压力试验。

⑤ 外护：黑色的耐光照PVC。

PHILSHEATH变频系统用电力电缆在变频系统中使用具有以下优点。

① 铝护套提供了一个均匀一致的电场，该电场能够在电压倍增之前增大电动机和变频器之间的允许距离。

② 高强度绝缘材料的使用使得电缆能够承受由于反射导致的巨大电压峰值。

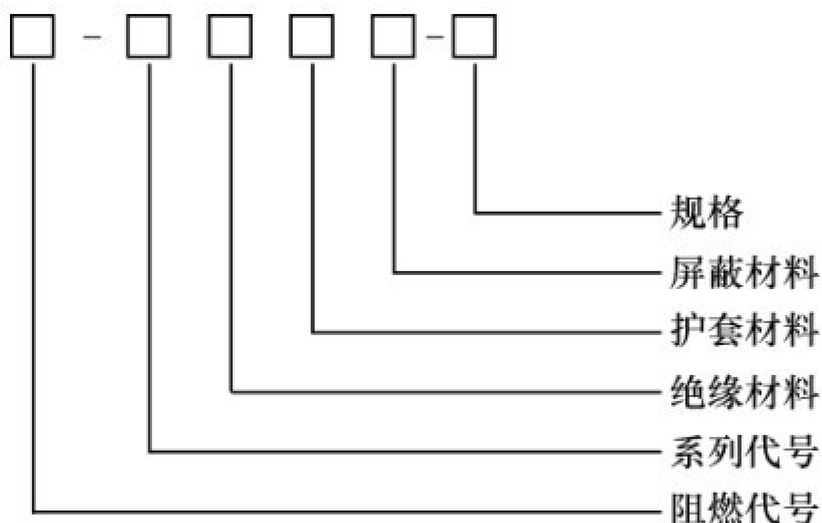


图2-31 国产变频专用电缆的型号说明

③ 铝护套起到一种有效的屏蔽作用，从而减小了相邻电路间的串扰。

④ 铝护套为一种低阻抗的路径，可防止产生的高频噪声扩散。

⑤ 外护套还起到绝缘作用，可避免多个接地点导致的接地电流的循环。

（3）国产变频专用电缆

国产变频专用电缆的型号说明如图2-31所示，其规格的表示方法见表2-11。

表2-11 国产变频专用电缆规格的表示方法

项目	代号	说明	项目	代号	说明
系列代号	BP	变频电缆	结构特征	P P2 P1 P3	铜丝或镀锡铜丝 铜带绕包 铜丝绕包 铝塑复合带绕包
绝缘代号	YJ	交联聚乙烯绝缘	阻燃代号	省略 ZR WDZ	非阻燃 阻燃 低烟无卤阻燃
护套代号	V E	聚氯乙烯护套 低烟无卤聚烯烃护套			

变频专用电缆的型号及名称见表2-12。

表2-12 变频专用电缆的型号及名称

序号	型号	名称
1	BPVVP	聚氯乙烯绝缘和护套铜丝编织屏蔽变频电力电缆
2	$BPVVP_2$	聚氯乙烯绝缘和护套铜带绕包屏蔽变频电力电缆
3	$BPVVPP_2$	聚氯乙烯绝缘和护套铜丝编织铜带绕包屏蔽变频电力电缆
4	$BPVVP_3$	聚氯乙烯绝缘和护套铝聚酯复合膜绕包屏蔽变频电力电缆
5	BP-YJVP	交联聚乙烯绝缘铜丝编织总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
6	BP-YJPVP	交联聚乙烯绝缘铜丝编织分屏蔽和总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
7	$BP\text{-}YJPVP_2$	交联聚乙烯绝缘铜丝编织分屏蔽铜带绕包和总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
8	$BPYJVPP_2$	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜丝编织铜带绕包屏蔽变频电力电缆
9	$BP\text{-}YJVP_2$	交联聚乙烯绝缘铜带绕包总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
10	$BPYJVP_3$	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铝聚酯复合膜绕包屏蔽变频电力电缆
11	$BP\text{-}YJP_2VP_2$	交联聚乙烯绝缘铜带绕包分屏蔽和总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
12	$BP\text{-}YJP_2VP$	交联聚乙烯绝缘铜带绕包分屏蔽铜丝编织总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
13	$BP\text{-}YJVP_2P$	交联聚乙烯绝缘铜带绕包和铜丝编织双层总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
14	$BP\text{-}YJP_3VP$	交联聚乙烯绝缘铝（铝塑）带（扎纹）纵包分屏蔽铜丝编织总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆
15	$BP\text{-}YJP_3VP_2$	交联聚乙烯绝缘铝（铝塑）带（扎纹）纵包分屏蔽铜带绕包总屏蔽聚氯乙烯护套变频器用主回路电缆

变频专用阻燃电缆的型号及名称见表2-13。

表2-13 变频专用阻燃电缆的型号及名称

序号	型号	名称
1	ZR-BPYJVP	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜丝编织屏蔽阻燃变频器用主回路电缆
2	$ZR\text{-}BPYJVP_1$	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜丝缠绕屏蔽阻燃变频器用主回路电缆
3	$ZR\text{-}BPYJVP_{1\text{-}2}$	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜丝缠绕铜带绕包双重屏蔽阻燃变频器用主回路电缆
4	$ZR\text{-}BPYJVP_3$	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铝（铝塑）带屏蔽阻燃变频器用主回路电缆
5	WDZ-BPYJEP	交联聚乙烯绝缘聚烯烃护套铜丝编织屏蔽低烟无卤阻燃变频器用主回路电缆
6	$WDZ\text{-}BPYJEP_2$	交联聚乙烯绝缘聚烯烃护套铜带屏蔽低烟无卤阻燃变频器用主回路电缆
7	$WDZ\text{-}BPYJEP_1$	交联聚乙烯绝缘聚烯烃护套铜丝缠绕屏蔽低烟无卤阻燃变频器用主回路电缆
8	$WDZ\text{-}BPYJEP_{1\text{-}2}$	交联聚乙烯绝缘聚烯烃护套铜丝缠绕包铜带双重屏蔽低烟无卤阻燃变频器用主回路电缆
9	$WDZ\text{-}BPYJEP_3$	交联聚乙烯绝缘聚烯烃护套铝（铝塑）带屏蔽低烟无卤阻燃变频器用主回路电缆

变频专用电缆的结构参数见表2-14。

表2-14 变频专用电缆的结构参数

序号	规格（mm²）	电缆外径（mm）						
		BPYJVP	BPYJPVP	BPYJPVP$_2$	BPYJVP$_2$	BPYJP$_2$VP$_2$ BPYJP$_3$VP$_2$	BPYJP$_2$VP BPYJP$_3$VP	BPYJVP$_2$P
1	3×1.5+3×0.25	10.8	11.8	11.6	10.6	11.4	11.5	11.2
2	3×2.5+3×0.5	12.6	13.6	13.4	12.4	13.2	13.3	13.0
3	3×4+3×0.75	14.0	15.0	14.8	13.7	14.6	14.8	14.4
4	3×6+3×1	17.8	18.8	18.6	17.5	18.4	18.5	18.2
5	3×10+3×1.5	23.1	24.0	23.8	22.8	23.7	23.8	23.4
6	3×16+3×2.5	26.6	27.7	27.5	26.3	27.3	27.4	27.0
7	3×25+3×4	31.0	32.0	31.8	30.7	31.6	31.7	31.3
8	3×35+3×6	34.6	35.7	35.5	34.3	35.2	35.4	35.0
9	3×50+3×10	39.7	40.9	40.7	39.4	40.3	40.5	40.0
10	3×70+3×10	45.3	46.5	46.3	45.0	45.9	46.1	45.6
11	3×95+3×16	49.6	50.8	50.6	49.3	50.2	50.4	50.0
12	3×120+3×25	54.3	55.5	55.2	54.0	54.9	55.1	54.6
13	3×150+3×35	60.1	61.3	61.0	59.8	60.7	60.9	60.4
14	3×185+3×35	73.8	75.0	74.7	73.5	74.4	74.6	74.1
15	3×240+3×50	82.0	83.3	83.0	81.6	82.5	82.8	82.2

（4）耐高温变频器专用电缆

耐高温变频器专用电缆有较小的电容，具有良好的耐火阻燃性能，可用于危险区域。该电缆含有屏蔽层以防止电磁干扰，传输阻抗是对屏蔽阻抗感抗和容抗的有效度量。低传输阻抗可提供良好的电磁相容性，对称的三芯设计使其具有更好的电磁相容性。3根耐温树脂绝缘线芯在缝隙处均匀等距绞合，形成一个真正的同心结构。耐高温变频器专用电缆的额定电压为 0.6/1kV，硅橡胶绝缘耐温为−40～180℃，F₄ 绝缘耐温为−40～275℃。耐高温变频器专用电缆的代号及说明见表2-15。

表2-15 耐高温变频器专用电缆的代号及说明

项　目	代　号	说　明
系列代号	K	耐高温控制电缆
导体镀层	Y	镀银
绝缘材料	F F_4 F_{47}	FEP 最高工作温度为 200℃ PTFE 最高工作温度为 260℃ PFA 最高工作温度为 285℃
屏蔽材料	P_0 P P_2	镀锡铜丝编织 钢丝编织 铜带
护套材料	F H_{11} H_9 V_{105} V_F G	FEP 最高工作温度为 200℃ PTFE 最高工作温度为 260℃ PFA 最高工作温度为 285℃ 105℃阻燃 PVC 护套 丁腈护套 硅橡胶护套
铠装材料	22 32	钢带铠装 细钢丝铠装
规格	—	芯数×导体截面积（$N\times S$） N：2、3、4、5、7、10、12、14、16、19、24、27、30、37、44、48、52、61 S：0.5、0.75、1.0、1.5、2.5、4、6（mm^2）
导体种类（在括号内填写）	A B C	单股导体 七股绞合导体 多股软导体

耐高温变频器专用电缆的基本型号及名称见表2-16。

表2-16 耐高温变频器专用电缆的基本型号及名称

序　号	型　号	名　称
1	BPGGP	硅橡胶绝缘和护套铜丝编织屏蔽耐高温变频电力电缆
2	$BPGGP_2$	硅橡胶绝缘和护套铜带绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
3	$BPGGPP_2$	硅橡胶绝缘和护套铜丝编织铜带绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
4	$BPGGP_3$	硅橡胶绝缘和护套铝聚酯复合膜绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
5	BPGVFP	硅橡胶绝缘丁腈护套铜丝编织屏蔽耐高温变频电力电缆
6	$BPGVFP_2$	硅橡胶绝缘丁腈护套铜带绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
7	$BPGVFPP_2$	硅橡胶绝缘丁腈护套铜丝编织铜带绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
8	$BPGVFP_3$	硅橡胶绝缘丁腈护套铝聚酯复合膜绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
9	BPFFP	氟 46 绝缘和护套铜丝编织屏蔽耐高温变频电力电缆
10	$BPFFP_2$	氟 46 绝缘和护套铜带绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
11	$BPFFPP_2$	氟 46 绝缘和护套铜丝编织铜带绕包屏蔽耐高温变频电力电缆
12	$BPFFP_3$	氟 46 绝缘和护套铝聚酯复合膜绕包屏蔽耐高温变频电力电缆

耐高温变频器专用电缆的结构参数见表2-17。

表2-17 耐高温变频器专用电缆的结构参数

序号	规　格（mm^2）	电缆外径（mm）				
		$BPGV_F$-P_2R	BPF_4H_{11}-P_2R	BPGG-P_2R	BPF_4G-P_2R	BPF_4V_F-P_2R
1	3×1.5+3×0.25	12.2	10.8	12.5	11.8	11.4
2	3×2.5+3×0.5	14.2	12.5	14.5	13.6	13.2
3	3×4+3×0.75	15.7	13.3	16.0	15.0	14.6
4	3×6+3×1	19.6	17.2	20.0	18.8	18.3
5	3×10+3×1.5	25.0	22.5	25.5	24.0	23.4
6	3×16+3×2.5	28.9	26.1	29.5	27.7	26.7
7	3×25+3×4	33.3	30.3	34.0	32.0	31.0
8	3×35+3×6	37.2	34.0	38.0	35.7	35.0
9	3×50+3×10	42.6	39.0	43.5	40.9	40.1
10	3×70+3×10	48.5	44.5	49.5	46.5	45.5
11	3×95+3×16	52.9	48.7	54.0	50.8	49.7
12	3×120+3×25	57.8	53.3	59.0	55.5	54.5
13	3×150+3×35	63.9	59.0	65.2	61.3	60.3
14	3×185+3×35	78.2	72.4	79.8	75.0	73.8
15	3×240+3×50	86.8	80.5	88.6	83.3	82.1

第3章 变频调速系统的控制与检测电路

- 变频器的外部控制电路
- 变频调速系统的检测器件.

3.1 变频器的外部控制电路

3.1.1 输入电路接线

1．输入端子

变频器可以采用外部的开关信号在远离变频器的地方进行操作，因此，把这种控制方式称为“远控”或“遥控”。变频器在出厂时设定的都是键盘操作方式，如需要采用外接输入控制方式，在使用前必须通过功能预置进行选择。外接输入端子如图3-1所示。变频器接收的外接输入端信号为开关量。变频器外接输入端子可分为以下两大类。

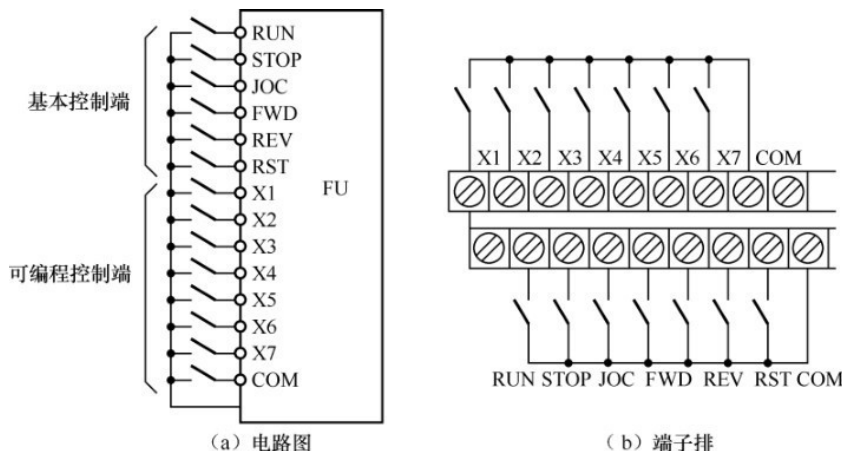


图3-1 外接输入端子

① 基本控制端：如运行、停止、正转、反转、点动、复位等，这些端子的功能是变频器在出厂时已经标定的，不能再更改。

② 可编程控制端：由于变频器可接收的控制信号多达数十种，但每个系统同时使用的输入控制端子并不多。为了节省接线端子和减少接线，变频器提供一定数量的“可编程控制端”，也称为“多功能输入端子”。其具体功能虽然在出厂时也进行了设置，但并不固定，用户可以根据需要进行预置。常见的可编程功能有多挡转速控制、多挡加/减速时间控制、升速/降速控制等。

例如，艾默生TD3000系列变频器的多功能输入端子有8个（X1～X8），可以预置的功能有33种。安川CIMR-G7A变频器的多功能输入端子有10个（S3～S12），可以预置的功能多达78种。

变频器的外接信号给定端有电压信号给定端、电流信号给定端、脉冲给定端，如图3-2所示。

2．开关指令信号的输入

变频器的输入信号中包括对运行、停止、正转、反转、微动等运行状态进行操作的开关型指令信号。变频器通常利用继电器触点或具有继电器触点开关特性的元器件（如晶体管）与PLC相连，得到运行状态指令，如图3-3所示。

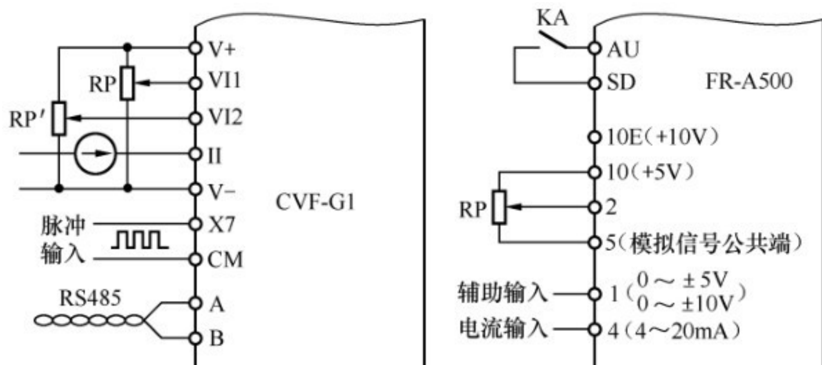


图3-2 外接给定电路

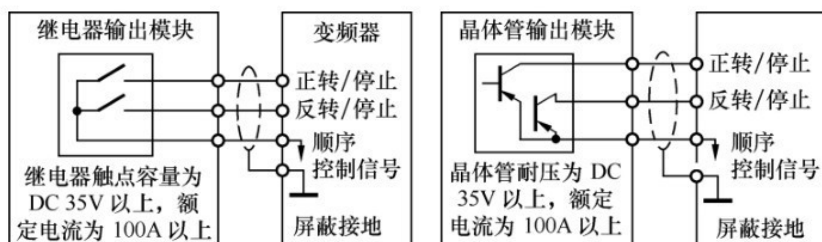


图3-3 运行信号的连接方式

在使用继电器触点时，常因接触不良而带来误动作；而使用晶体管进行连接时，则需考虑晶体管本身的电压、电流容量等因素，以保证系统的可靠性。在设计变频器的输入信号电路时还应该注意，当输入信号电路连接不当时，会造成变频器误动作。例如，当输入信号电路采用继电器等感性负载时，继电器开闭产生的浪涌电流带来的噪声有可能引起变频器误动作，应尽量避免。图3-4与图3-5给出了变频器外接输入信号端正确与错误的接线例子。

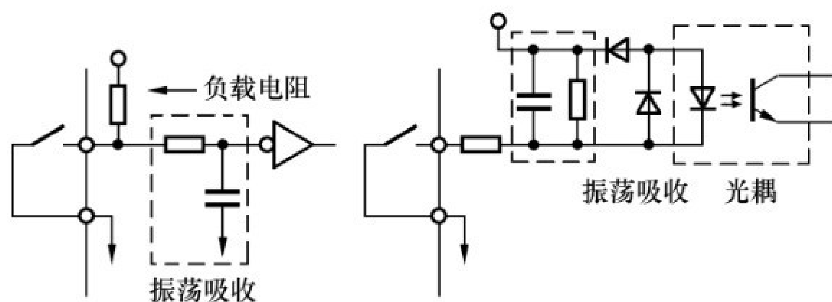


图3-4 变频器输入信号接入方式

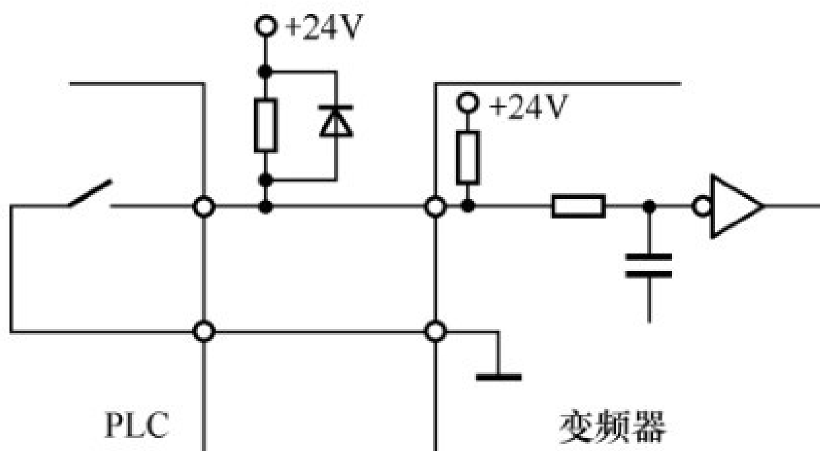


图3-5 输入信号的错误接法

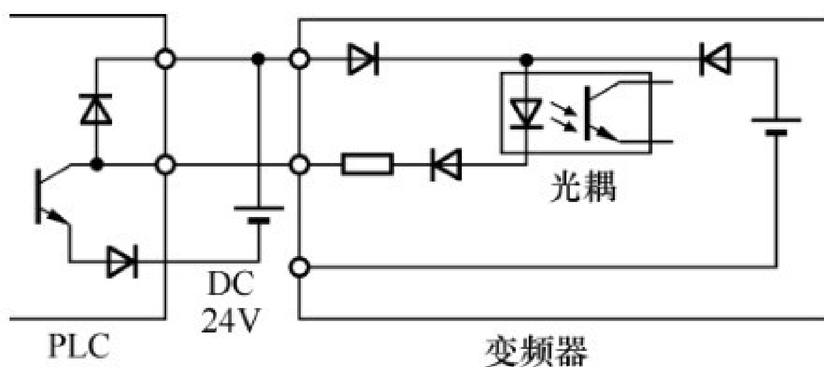


图3-6 将外部晶体管的集电极经过二极管接到PLC上

采用PLC控制变频器运行时，当PLC输出的开关信号输入变频器

时，外部电源和变频器控制电源（DC24V）之间有时会发生串扰。正确的连接方法是利用PLC电源，将外部晶体管的集电极经过二极管接到PLC上，如图3-6所示。

3．三线控制

三线控制相当于继电器控制中的自锁控制。三线控制的两种基本接法如图3-7所示。

① 按键控制：按FSF后电动机正转升速并实现自锁，按FST后电动机降速至停止。

② 脉冲控制：FWD为正脉冲，电动机正转升速并实现自锁；HLD为负脉冲，电动机减速到停止。

通过变频器外接输入端子可控制变频器的正转（FWD）、反转（REV）、点动（JOG）、复位（RST）；利用变频器的多功能端子（X1～X7）可实现可编程控制，如多段速度设定、多段升降时间设定。当外部电路有故障时，故障输出到相关输入端作为控制信号；外部升降速信号使用外部触点输出到相关输入端作为控制指令。变频器的内置PID和外接PID控制端子的接线如图3-8所示。

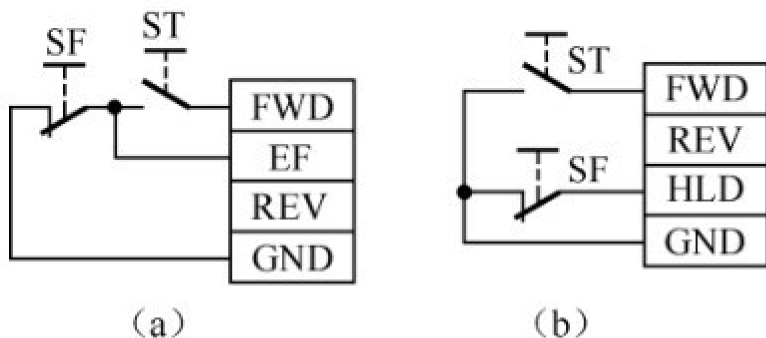


图3-7 三线控制的两种基本接法

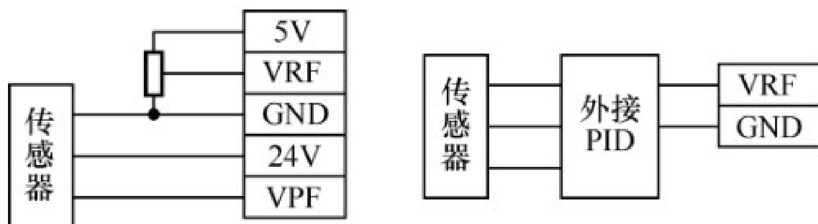


图3-8 变频器的内置PID和外接PID控制端子的接线方法

3.1.2 输出电路接线

1．输出端子

变频器的输出端子可以输出与变频器的工作状态相关的信号。变频器的输出端子有跳闸报警输出端（开关量）、测量信号输出端（模拟量或脉冲）以及可编程输出端等几种类型。

2．外接输出控制端

① 报警输出端：如图3-9中的30A、30B、30C端。

② 测量输出端：如图3-9中的FM和AM端。

③ 通信接口：多数变频器提供的是RS-485接口，而上位机的通信口多为RS-232C接口，中间应加接一个RS-485/RS-232C转换器。

④ 状态信号输出端：主要有“运行”信号、“频率到达”信号、“频率检测”信号等。状态信号的输出电路大多采用晶体管集电极开路输出方式，用于直流低压电路中。外电路可通过光电耦合器接收信号，也可直接驱动发光二极管来指示各种状态。

（1）跳闸报警输出

变频器因发生故障而跳闸时，输出端子输出跳闸报警信号。跳闸报警输出端的主要特点如下。

① 报警输出端子是专用的，不能再用于其他用途，不需要进行功能预置。

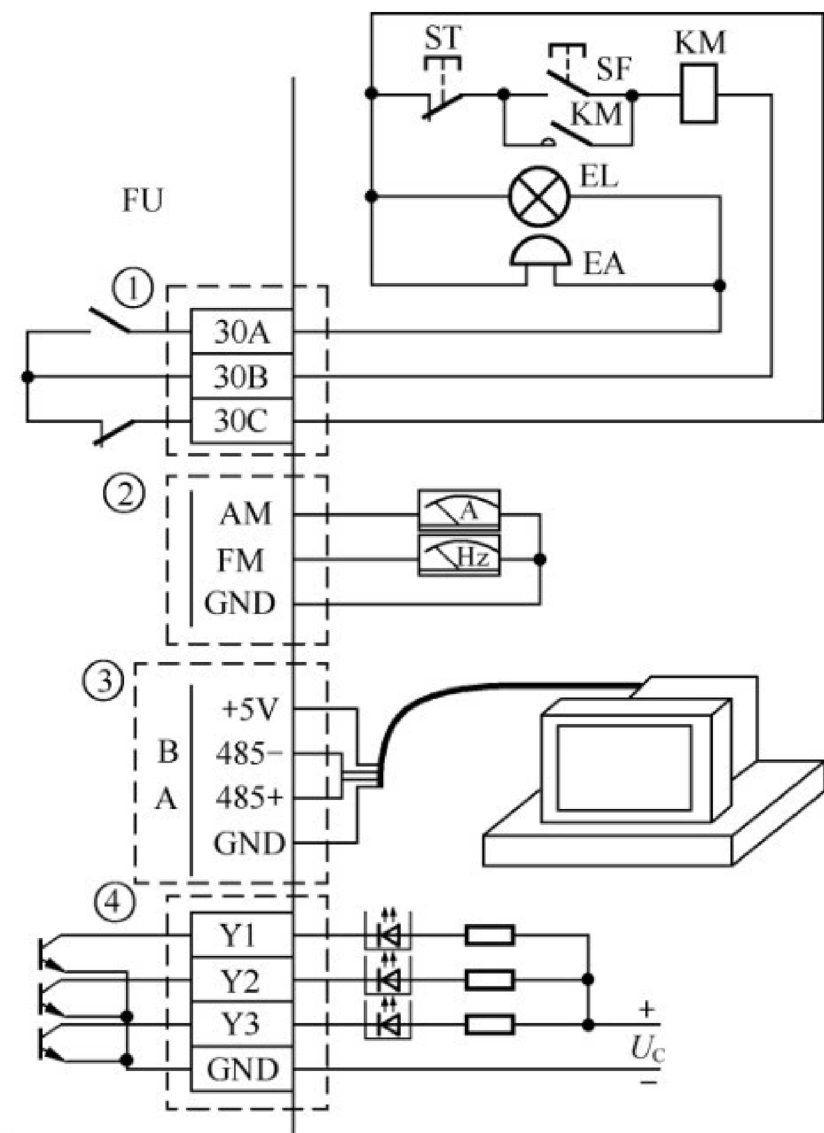
② 变频器的报警输出为继电器输出，可直接接至250V交流电路中，继电器的触点容量为1～3A。

变频器的报警输出端通常都配置一对触点（一常开、一常闭），

报警输出端的基本接法如图3-10（a）所示。触点30C、30B串联在接触器KM的线圈电路内，触点30C、30A串联在声光报警电路内。变频器的通电由接触器KM控制，当变频器因故障跳闸时，触点30C、30B断开，接触器KM的线圈失电，其触点断开，使变频器切断电源，触点30C、30A闭合，电笛 EA 和指示灯 EL同时得电，发出声光报警。在配置声光报警的情况下，变频器控制电源的接线端（R1和S1）应接至接触器KM主触点的电源端。

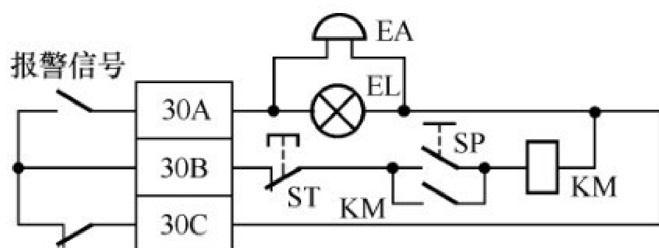
（2）测量信号输出端

为了用外接仪表测量变频器的运行参数（频率、电流等），变频器配置了为外接仪表提供测量信号的外接输出端子，如图3-10（b）所示。通过对变频器测量信号输出端的预置，变频器测量信号输出端提供模拟量或数字量测量信号，预置的相关功能主要有以下几个方面。

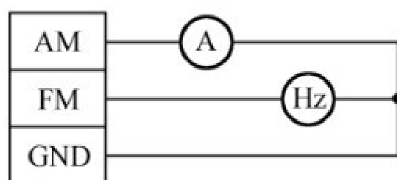


ST
SF
KM
KM
EL
EA
FU
①
30A
30B
30C
②
AM
FM
GND
A
Hz
③
B
A
+5V
485−
485+
GND
④
Y1
Y2
Y3
GND
+
U_C
−

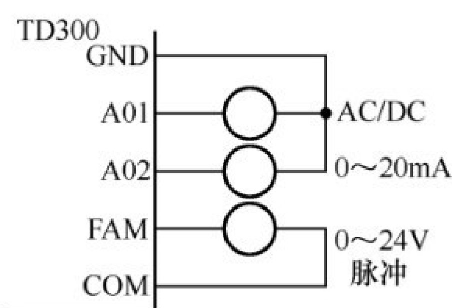
图3-9 外接输出控制端



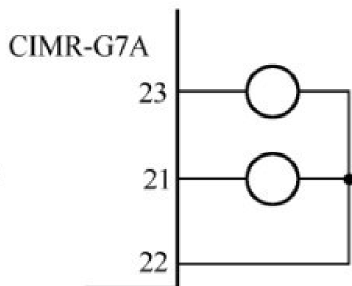
（a）报警输出端的基本接法



（b）变频器配置了外接输出端子



（c）内部校准



（d）外部校准

图3-10 变频器外部端子

① 测量内容的选择功能。变频器的外接测量输出端子通常有两个，用于测量频率和电流。但除此以外，还可以通过功能预置测量变频器的其他运行数据，如电压、转矩、负荷率、功率，以及PID控制时的目标值和反馈值等。测量信号输出端的输出信号如下。

- 电压信号。输出信号的电压范围有0～1V、0～5V、0～10V等几种。一般变频器是直接由模拟量给出信号电压的大小，但也有的变频器输出的是占空比与信号电压成正比的脉冲信号。
- 电流信号。输出信号的电流范围有0～20mA、4～20mA、0～

1mA 3种。

• 脉冲信号。输出信号为与被测量成比例的脉冲信号，脉冲高度（电压）通常为 8～24V，脉冲信号输出方式主要用于测量变频器的输出频率。

② 量程校准功能。变频器的外接仪表通常为电压表或毫安表，而被测参数是频率、电流或其他物理量，因此，必须对测量仪表的量程进行校准。校准的方法主要以下两种。

• 通过对变频器的功能预置来校准，如图3-10（c）所示。

• 通过外接仪表回路的电位器来校准，如图3-10（d）所示。

（3）可编程输出端

变频器的可编程输出端也称为状态输出端，用于输出变频器工作的各种状态信号，可编程输出端为开关量输出。各输出端子的具体功能须通过变频器的功能预置来决定，主要有变频器在运行中、频率到达设定值、输出频率到达频率上限、输出频率到达频率下限、程序运行换步信号、程序运行循环一次结束信号、程序运行步数的指示等。状态信号有 Y1、Y2、Y3、GND，“运行信号”、“频率到达”、“频率检测”可通过变频器的功能预置设定，输出端能驱动发光二极管、小继电器。可编程输出端的输出类型如下。

① 继电器输出型。变频器内部有若干个输出继电器，通过继电器的触点输出相关信号，如图3-11（a）所示。继电器的输出触点只能用于直流低压电路中，也有可用在交流220V电路中的继电器触点。

② 晶体管输出型。变频器的可编程输出端为晶体管集电极输出，如图3-11（b）所示。晶体管集电极输出方式只能应用于直流低压电路中。由于晶体管的单方向导电性，在接线时应注意外接电源的极性。

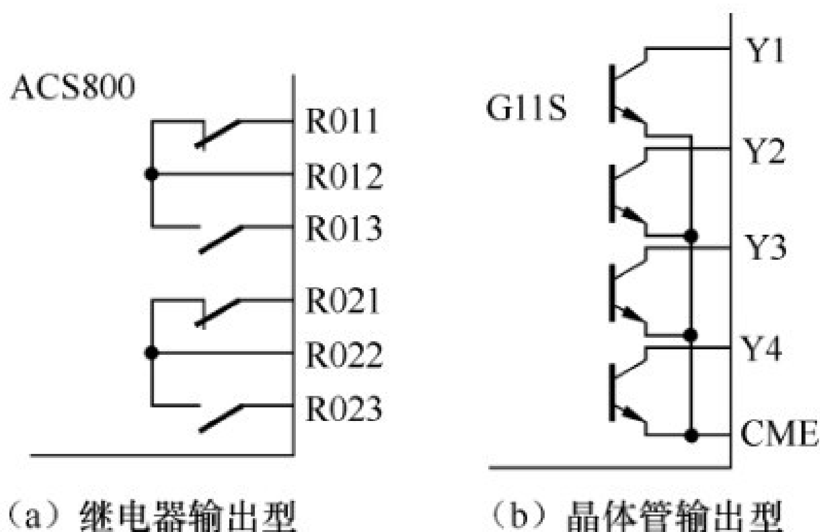


图3-11 可编程输出电路

3.1.3 变频调速系统的隔离技术

电路隔离的主要目的是通过隔离元器件把噪声干扰的路径切断，从而达到抑制噪声干扰的效果。在采用了电路隔离措施以后，绝大多数电路都能够取得良好的抑制噪声的效果，使系统符合EMC的要求。电路隔离方式主要有模拟电路隔离、数字电路隔离、数字电路与模拟电路之间的隔离。所使用的隔离方法有变压器隔离法、脉冲变压器隔离法、继电器隔离法、光电耦合器（简称光耦）隔离法、直流电压隔离法、线性隔离放大器隔离法、光纤隔离法、A/D转换器隔离法等。

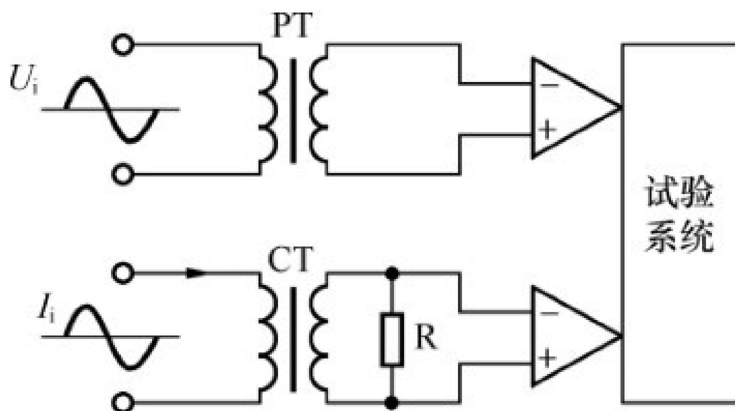
1．模拟电路隔离

模拟电路的隔离比较复杂，主要取决于对传输通道的精度要求，精度要求越高，其通道的成本也就越高。然而，当性能的要求上升为主要矛盾时，应当以性能为主选择隔离元器件，把成本放在第二位；反之，应当从价格的角度出发选择隔离元器件。模拟电路的隔离主要采用变压器隔离、互感器隔离、直流电压隔离、线性隔离放大器隔离等方法。

对于具有直流分量和共模噪声干扰比较严重的场合，在模拟信号

传输中必须采取隔离措施，使输入与输出完全隔离，彼此绝缘，消除噪声的耦合。隔离能防止模拟电路受到干扰，能有效抑制干扰尤其是系统的接地干扰进入系统，导致系统的工作紊乱；也能有效防止数字系统的脉冲波动干扰进入模拟电路，因模拟电路的前置放大部分的信号非常微弱，较小的干扰波动信号就会把有用信号淹没。

对于高电压、大电流信号采用互感器隔离，其抑制噪声的原理与隔离变压器类似。互感器隔离的应用方法如图 3-12（a）所示。微电压、微电流模拟信号的隔离系统相对来说比较复杂，既要考虑其精度、频带宽度等因素，又要考虑其价格因素。一般情况下，对于较小量的共模噪声，采用差动放大器就能够取得良好的效果，但对于具有较大的共模噪声且系统精度要求比较高的场合，应该选择高精度线性隔离放大器。线性隔离放大器的应用如图3-12（b）所示。



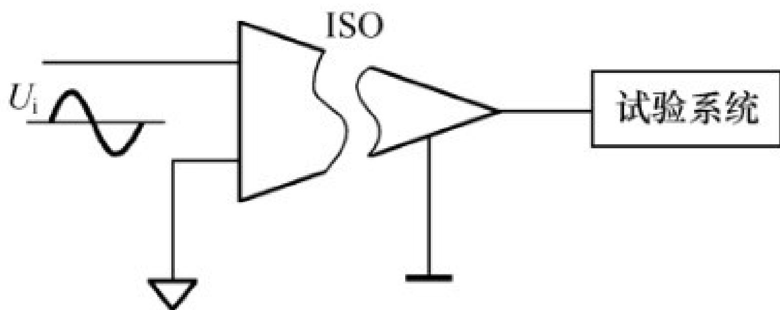


图3-12 模拟信号输入隔离系统

2．物理隔离

物理隔离是指从电路上把干扰源和易受干扰的部分应用物理介质隔离开来，使它们不发生电的联系。在变频调速系统中通常采用以下物理隔离措施。

① 正确选用连接电缆和布线方式。低频电路尽量采用双绞线，高频电路尽量采用双同轴屏蔽电缆，并尽量用光缆代替长电缆，使所有的信号线很好地绝缘，使其不漏电，这样能有效地防止由于接触引入的干扰。

② 根据信号的不同类型将其按抗噪声干扰的能力分类，并将不同

种类的信号线缆隔离敷设。相近种类的信号线如果必须在同一电缆槽中走线，则一定要用金属隔板将它们隔开，并采用隔离技术将信号源与系统在电气上进行隔离。这样会大大地减小共模干扰对系统造成的危害。用隔离放大器将信号的输入端子与系统电路部分完全隔离（有的系统中采用隔离变压器或继电器等方式隔离，对开关量则可以采用光电器件或继电器进行隔离），这样因地电位不同所产生的干扰信号形不成回路，可有效地抑制干扰的危害。

③ 模拟量信号（模入、模出，特别是低电平的模入信号）对高频脉冲信号的抗干扰能力是很差的，应采用屏蔽双绞线或屏蔽电缆传输，且这些信号线必须单独穿电线管或在电缆槽中敷设，不可与其他信号线在同一电缆管（或槽）中走线。

④ 低电平的开关信号（一些状态干触点信号）、数据通信线路（RS-232、RS-485等）对低频脉冲信号的抗干扰能力比模拟量信号要强，也应采用屏蔽双绞线（至少用双绞线）传输。此类信号也要单独走线，不可和动力线和大负载信号线在一起平行走线。

⑤ 高电平（或大电流）开关量的输入、输出及其他继电器的输入、输出信号的抗干扰能力强于以上两种，但这些信号会干扰别的信号，可用双绞线连接，也单独敷设在电缆管或电缆槽中。

⑥ 动力线（AC 220V、380V）及大通断能力的断路器、开关信号线等的选择不是根据抗干扰能力，而是由电流负载和耐压等级决定，其敷设应与信号传输线严格分开。为了防止供电线路上引入共模高频干扰信号，可以在供电线路上设隔离变压器进行干扰隔离。为了达到好的干扰抑制效果，变压器的屏蔽层要很好地接地，变压器的次级线圈应采用双绞线。

3．电位隔离

电位隔离分为机械、电磁、光电和浮地等几种隔离方式，其实质是人为地造成电的隔离，以阻止电路性耦合产生电磁干扰。机械隔离采用继电器来实现其线圈接收信号，机械触点发送信号。机械触点分断时，由于阻抗很大，电容很小，从而阻止了电路性耦合产生的电磁干扰。缺点是线圈工作频率低，不适合于工作频率较高的场合使用，

而且存在触点通断时的弹跳干扰以及接触电阻等。

继电器是常用的数字输出隔离元件，用继电器作为隔离元件简单实用，价格低廉。图3-13是继电器输出隔离的示意图。在该电路中，通过继电器把低压直流电与高压交流电隔离开来，使高压交流侧的干扰无法进入低压直流侧。在远距离控制操作时，采用继电器担任中间转换，可有效地减小外界对控制线引起的干扰。

4．电磁隔离

电磁隔离是采用变压器传递电信号，阻止了电路性耦合产生的电磁干扰，对于交流传输使用较为方便。由于变压器绕组间的分布电容较大，所以使用时应当与屏蔽和接地相配合。脉冲变压器原、副边绕组匝数很少，分别绕制在铁氧体磁芯的两侧，分布电容仅为几皮法，可作为脉冲信号的隔离器件。对于模拟量输入信号，由于每点的采样周期很短，实际上的采样波形为一脉冲波形，也可实现隔离作用。采用脉冲变压器隔离方式，在线路中仍应加滤波环节抑制动态常模干扰和静态常模干扰。脉冲变压器隔离方式可用于几兆赫的信号电路中。

脉冲变压器隔离存在的主要问题在于变频调速系统与被控制对象之间存在公共地线，即使采用同轴电缆作为传输媒介，也会将现场的干扰信号引入变频调速系统中，影响整个系统可靠稳定工作。由于脉冲变压器传递输入、输出脉冲信号时不传递直流分量，因而在变频调速系统中得到了广泛的应用。一般来说，脉冲变压器的信号传递频率为1kHz～1MHz，新型高频脉冲变压器的传递频率可达到10MHz。图3-14是脉冲变压器的示意图。

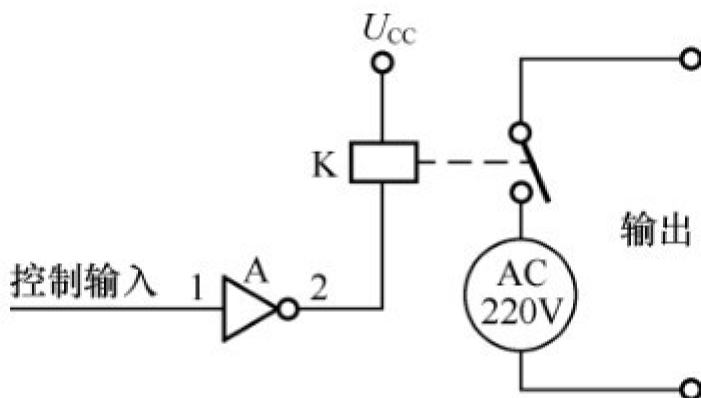


图3-13 继电器输出隔离

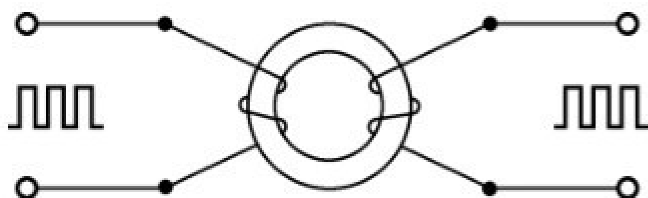


图3-14 脉冲变压器的示意图

5．模/数变换隔离电路

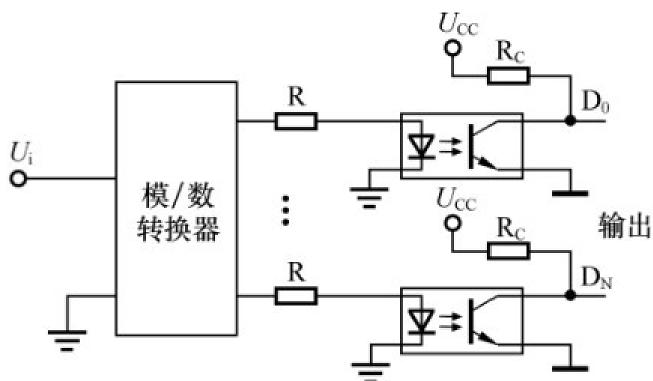
模拟电路与数字电路之间的隔离主要采用模/数转换装置；对于要求较高的电路，除采用模/数转换装置外，还应在模/数转换装置的两端分别加入模拟隔离元器件和数字隔离元器件。

在变频调速系统中，常在现场就地进行模/数转换，利用模/数转换器将易受干扰的模拟信号转换为数字信号进行传输，在接收端采用光电隔离，以增强其在信号传输过程中的抗干扰能力。而模/数转换器的安装位置是实际应用中很具体的问题。对于在工业生产现场应用的环境中，一是考虑将模/数转换器远离生产现场，放置在主控室中，二是将模/数转换器放在生产现场，远离主控室，两者各有利弊。

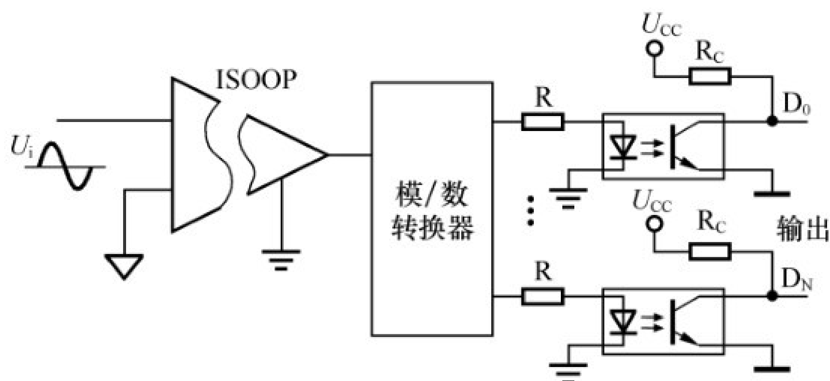
将模/数转换器放置于主控室，便于把模/数转换器产生的数字信息传送给变频调速系统的处理器，而控制信息传送给模/数转换器也很方便，因而利于转换器的管理。但由于模/数转换器远离生产现

场，模拟量传输线路过长，分布参数以及干扰的影响增大，而且易引起模拟信号衰减，直接影响转换器的工作精度和速度。将转换器放置于生产现场，虽然可解决上述问题，但数字信息传输线路过长，也不便于转换器的管理。

在模/数转换器或数/模转换器的应用中，若不采取一定的措施，数字电路中的高频振荡信号就会对模拟电路带来一定的干扰，影响测量精度。为了抑制数字电路对模拟电路带来的高频干扰，一般须将模拟地与数字地分开布线。这种布线方式不能彻底排除来自数字电路的高频干扰，要想排除来自数字电路的高频干扰，必须把数字电路与模拟电路隔离开来，常用的隔离方法是在模/数转换器与数字电路之间加入光电耦合器，把数字电路与模拟电路隔离开，如图 3-15（a）所示。但这种电路还不能从根本上解决模拟电路中的干扰问题，仍然存在着一定的缺陷，这是因为信号电路中的共模干扰和差模干扰没有得到有效的抑制，对于高精密应用的场合还不能满足要求。对于具有严重干扰的场合，可采用图 3-15（b）所示的电路。在该电路中，对信号接收部分与模拟处理部分也进行了隔离，因为在前置处理级与模/数转换器之间加入线性隔离放大器，把信号地与模拟地隔开，同时在模/数转换器与数字电路之间采用光电耦合器隔离，把模拟地与数字地隔开。这样一来，既防止了数字系统的高频干扰进入模拟部分，又阻断了来自前置电路的共模干扰和差模干扰。



（a）单端隔离的模/数转换电路



（b）双端隔离的模/数转换电路

图3-15 模拟电路与数字电路之间的隔离

6．光电隔离

光电隔离是采用光电耦合器通过半导体发光二极管（LED）的光发射和光敏半导体（光电电阻、光电二极管、光电晶体管、光电晶闸管等）的光接收来实现信号的传递。光电耦合器的输入阻抗与一般干扰源的阻抗相比较小，因此分压在光电耦合器输入端的干扰电压较小，而且一般干扰源的内阻较大，它所能提供的电流并不大，因此不能使发光二极管发光。光电耦合器的外壳是密封的，它不受外部光的影响。光电耦合器的隔离电阻很大，隔离电容很小，能阻止电路性耦合产生的电磁干扰。只是光电耦合器的隔离阻抗随着频率的提高而降低，抗干扰效果也将降低。

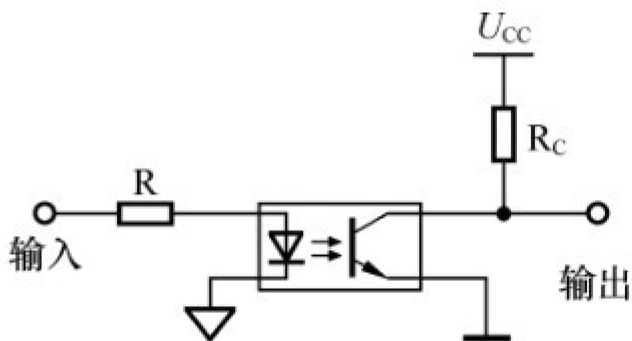
光电耦合器件由输入端的发光器件和输出端的受光器件组成，输入与输出在电气上是完全隔离的。其体积小、使用简便，可视现场干扰情况的不同，组成各种不同的线路对共模和差模干扰进行抑制。采用光电耦合器把输入信号与内部电路隔离开来或者把内部输出信号与外部电路隔离开来的电路如图3-16（a）、（b）所示。

目前，大多数光电耦合器件的隔离电压都在2.5kV以上，有些器件达到了8kV，既有高压大电流光电耦合器件，又有高速高频光电耦合器件（频率高达 10MHz）。常用的器件有：4N25的隔离电压为5.3kV；6N137的隔离电压为3kV，频率在10MHz以上。

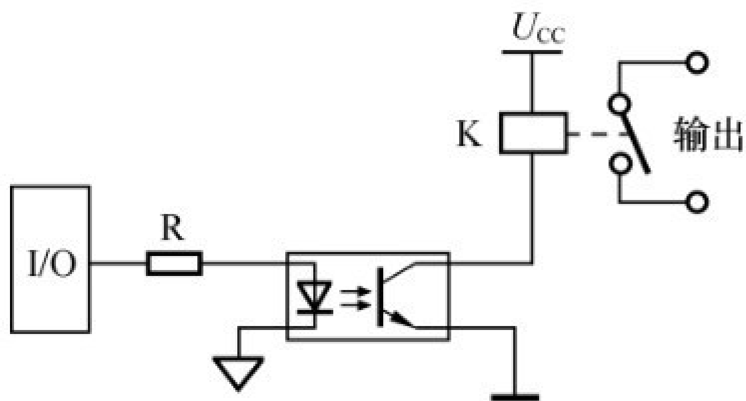
光电耦合器用于输入、输出端隔离具有线路简单的优点，由于避免形成地环路，而输入与输出的接地点也可以任意选择。这种隔离不仅可以用在数字电路中，也可以用在线性（模拟）电路中。

光电耦合器用于消除噪声是从两个方面体现的：一方面是使输入端的噪声不传递给输出端，只是把有用信号传送到输出端；另一方面，由于输入端到输出端的信号传递是利用光来实现的，极间电容很小，绝缘电阻很大，因而输出端的信号与噪声也不会反馈到输入端。

使用光电耦合器时，应注意光电耦合器本身具有 10～30pF 的分布电容，所以频率不能太高；另外在触点输入时，应注意加RC滤波环节，抑制触点的抖动。另外，用于低电压时，其传输距离以100m以内为限，传输速率在10kbit/s以下为宜。



（a）外部输入与内部电路的隔离



（b）控制输出与外部电路的隔离

图3-16 光电耦合器电路

为保证模/数转换器能可靠运行，并获得精确的传输效果，可将模/数转换器与光电耦合器组合成电—光—电隔离装置。把模/数转换器放在靠近现场一侧。为了有效抑制干扰，采用双套光电耦合器，使得模/数转换器与变频器之间的信息交换均经过两次电—光—电的转换。如图3-17所示，一套光电耦合器放在模/数转换器一侧，另一套光电耦合器放在变频器一侧。系统中有3个不同的地端：一是变频器与I/O接口公用地，二是传输长线使用的“浮空地”，三是模/数转换器和被控对象公用的“现场地”。采用这种两次光电隔离的办法，把传输

长线隔浮在变频器与被控对象之间，不仅有效地消除了公共地线，抑制了由其引进的干扰，而且也有利于解决长线驱动与阻抗匹配的问题，并能保证了整个控制系统的可靠运行。

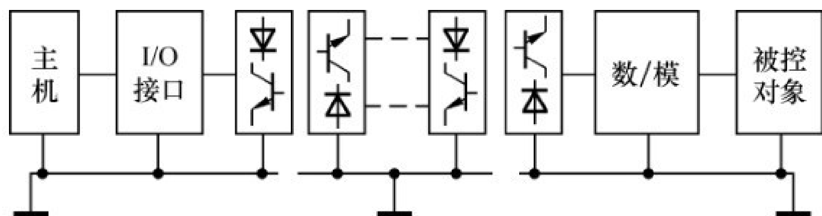


图3-17 电—光—电隔离框图

7．开关量输入输出电路隔离

考虑到控制电路的抗干扰性能，开关量输入、输出电路均应采用光电耦合器。带光电耦合器的开关量输入电路如图3-18所示。外电路电源为＋15V，变频器电源为＋24V，两个电源是隔离的。当开关S断开时，光电耦合器的发光二极管熄灭，光电晶体管呈高阻特性，A点为低电平，经与门后输出电压为低电平。当开关S闭合时，光电耦合器的发光二极管发光，光敏管呈低阻特性，A点为高电平，经与门电路后输出电压为高电平。

采用光电耦合器的开关量输出电路如图3-19所示。＋5V电源为执行器电源，＋24V电源为开关量输出电源，两个电源是隔离的。当DO接口端输出高电平时，经与非门电路，A点为低电平，经光电耦合器使驱动晶体管VT导通，出口继电器K得电吸合。当输出低电平时，经与非门电路，A点输出高电平，经光电耦合器件使VT截止，K释放。

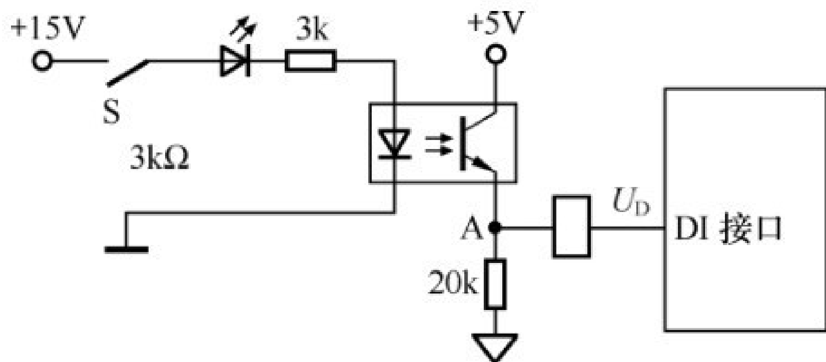


图3-18 带光电耦合器的开关量输入电路

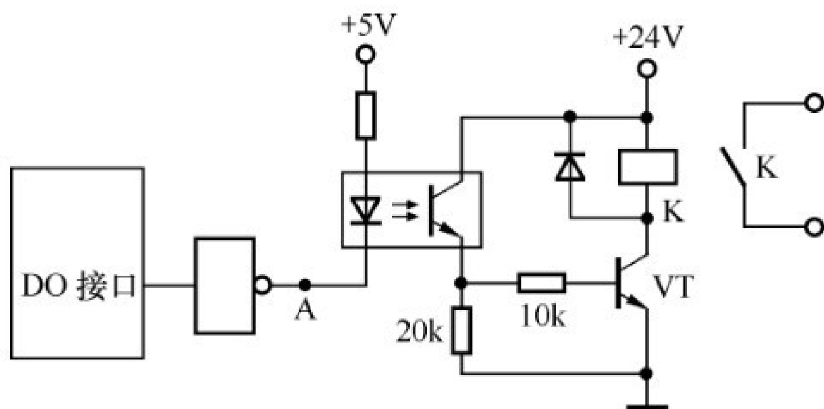


图3-19 带光电耦合器的开关量输出电路

8．模拟量输入输出电路隔离

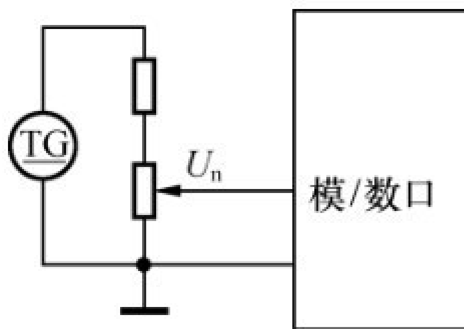


图3-20 模/数口直接连接测速反馈电路

对于变频调速系统，速度检测通常采用测速发电机将速度信号变成电压信号U_n，U_n＝αn（α为速度反馈系数）。电流检测通常采用电流互感器或霍尔效应电流检测器来实现，将电流信号变成电压信号U_i，U_i＝βI_d（β为电流反馈系数）。若采用模/数转换电路，可直接将模拟电压信号接到的模拟输入端，如图3-20所示。模拟输入信号为测速发电机的输出电压，分压后将模拟输入电压U_n限制为0～5V。

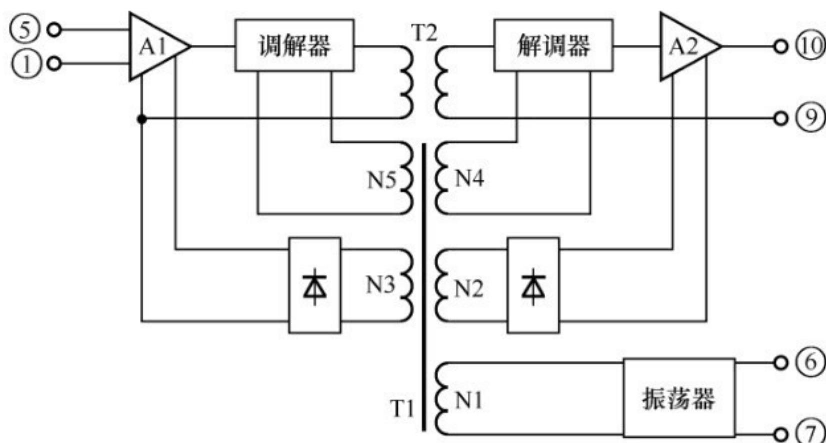
这种模拟输入电路的特点是结构简单，但存在不安全因素，测速发电机电枢电压高达100多伏，直接与变频器的模拟输入引脚相连，一方面会给变频器电路带来干扰，另一方面瞬时过电压会损坏单片机芯片。

考虑到变频调速系统的抗干扰能力及可靠性，需要将检测的模拟量U_n、U_i与变频器电路之间隔离开来。模拟量隔离电路的方式有变压器隔离及光耦隔离两种。

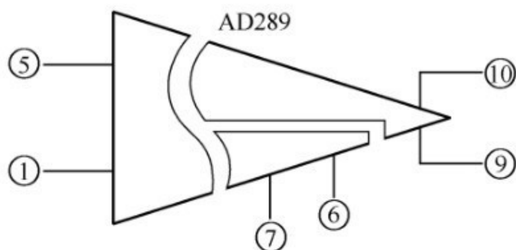
（1）变压器隔离

采用变压器隔离的典型电路是隔离放大器，AD289隔离放大器的结构如图3-21（a）所示。隔离放大器所需电源电压是DC 15V，DC 15V电源经振荡器加到变压器T1的初级绕组 N1，T1 的次级绕组N2、N3 提供脉冲电压，经整流滤波后形成的控制电压分别供A2、A1放大器使用。T1的次级绕组N5、N4分别为调制器和解调器提供脉冲电压。很小的输入信号（毫伏级）经放大器 A1 放大后，再经调制器调制成交流信号。经变压器 T2后，再经解调器还原成A1的输出电压，经A2放大，在⑨、⑩两端输出被放大的电压。

图3-21（b）所示为AD289的图形符号，控制电源端⑥、⑦与信号输入端⑤、①及信号输出端⑨、⑩ 3个回路之间是相互隔离的，隔离耐压达2500V。如果检测电枢电流，电枢回路分流器（额定电压为75mV）两端的电压接信号输入端⑤、①，信号输出端⑩、⑨接变频器的模入端，可实现电枢回路的高压（约1000V）与变频器低压回路的隔离。



（a）



（b）

图3-21 AD289隔离放大器的结构

（2）光耦隔离

光耦隔离的方法分为以下3种。

① 线性光耦隔离。精密线性光耦TIL300的应用电路如图3-22所示。TIL300是由红外发光二极管、隔离反馈光二极管和一个输出光二极管组成。该器件所采取的特殊技术是可补偿红外发光二极管时间和温度特性的非线性，使输出信号与红外发光二极管发出的光通量成线性变化。

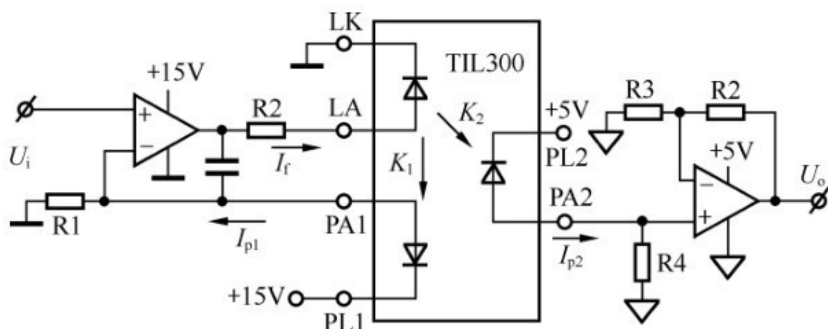


图3-22 TIL300的应用电路

令电流增益为K₁ =I_{p1} /I_f ，正向增益为K₂ =I_{p2} /I_f ，传输增益为K₃ =I_{p2} /I_{p1} =K₂ /K₁ ，那么，图 3-32 所示电路的输出电压U_o 为

$$
\begin{aligned}
U_o &= I_{p2} R_4 \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_3} \\
&= K_3 \cdot \frac{R_4}{R_1 R_3} (R_2 + R_3) \cdot U_i
\end{aligned}
$$

 （3-1）

式中：U_i 为输入的模拟量。

显然，传输电路的输出电压 U_o 与输入电压U_i 的关系取决于传输增益K₃ ，由于K₃ =K₂ /K₁ ，即使K₂ 、K₃ 在I_f 变化时不是线性变化的，但其比值K₃ 可以做成线性。也就是说，图3-32所示电路的传输比是线性的，同时也达到了U₁ 与U_o 之间电气隔离的目的。

② 模/数转换后光耦隔离。模/数转换后光耦隔离方案也可以实现模拟量输入信号与变频器的输出端隔离。典型的产品如 CKE公司的G-01AD模块，电路结构如图 3-23所示。G-01AD模块为8通道模拟量输入模块。

在图3-23中，输入的模拟量经切换回路选通，然后进入放大器，经模/数转换后变成12位的二进制数字信号，再经12只光合器后进入CPU的数据总线。模/数转换电路与CPU之间的控制信号及输入切换电路的控制信号共8路，也是经8只光耦与CPU相连接。显然，8路模拟量输入信号与CPU之间经20只光耦相连接，输入信号与CPU之间没有任何电气连接。

③　　　　U/F变换后光耦隔离。这种方案是将被检测的模拟量U＜sub＞i＜/sub＞　经U/F变换电路转换成频率量F，经光耦隔离后连接到变频器的输入端。CPU通过检测频率的大小计算出对应的模拟量U＜sub＞i＜/sub＞。电路结构如图3-24所示。

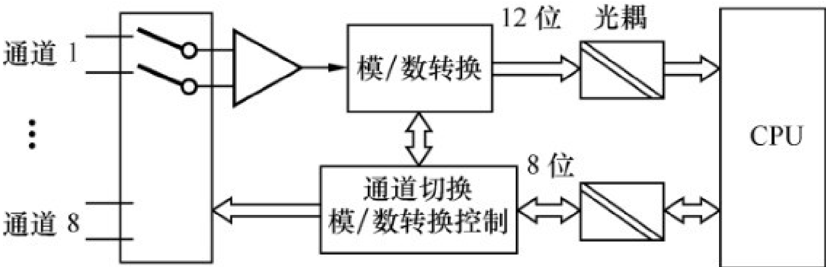


图3-23 模/数转换后光耦隔离结构示意图

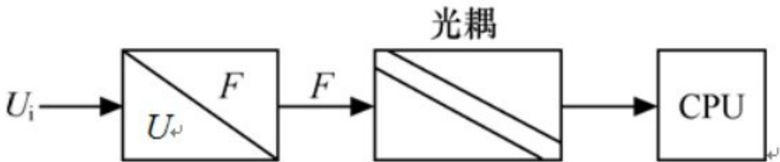


图3-24 U/F变换后光耦隔离结构示意图

对于一路模拟量输入电路，仅用一只光耦即可实现电气隔离。因此，这种方案具有体积小、造价低的特点。西门子公司的SIEMADYD全数字控制系统就采用这种方案。

3.1.4 PLCPLC与变频器的配合使用

用PLC控制变频器有两种方法：一是模拟量控制，该方法很直观

而且简单，利用变频器的I/O端子，将变频器的跟随速度设置为某个模拟量输入即可实现对变频器的控制，但是每个变频器占用一个模拟量通道；二是通信，该方法不仅实现了对变频器的控制，还能够获取变频器的运行状态，只要简单地把变频器当成一个设备，用PLC来通信，读写这些变频器内部寄存器，就可以实现对变频器的控制。

变频器中也存在一些数值型（如频率、电压等）指令信号的输入，可分为数字输入和模拟输入两种。数字输入多采用变频器面板上的键盘操作和串行接口来给定；模拟输入则通过接线端子由外部给定，通常通过0～10V/5V的电压信号或0/4～20mA的电流信号输入。由于接口电路因输入信号而异，因此必须根据变频器的输入阻抗选择PLC的输出模块。

当变频器和PLC的电压信号范围不同时，如变频器的输入信号为0～10V而PLC的输出电压范围为0～5V时，或PLC一侧的输出信号电压范围为0～10V而变频器的输入电压信号范围为0～5V时，由于变频器和PLC的输入、输出端晶体管的允许电压、电流等因素的限制，需用串联的方式接入限流电阻及分压方式，以保证开闭时不超过PLC和变频器的输入、输出端允许容量。

通常变频器也通过接线端子向外部输出相应的监测模拟信号，电信号的范围通常为0～10V/5V（电压）及0/4～20mA（电流）。在应用中应依据PLC一侧的输入阻抗的大小，保证电路中电压和电流不超过电路的允许值，以提高系统的可靠性和减小误差。因为变频器在运行中会产生较强的电磁干扰，为保证 PLC 不因变频器主电路断路器及开关器件等产生的噪声而出现故障，将变频器与PLC相连接时应该注意以下几点。

① 对PLC本身应按规定的接线标准和接地条件进行接地，而且应注意避免和变频器使用共同的接地线。

② 当电源条件不太好时，应在PLC的电源模块及输入、输出模块的电源线上接入噪声滤波器和降低噪声用的变压器等。另外，若有必要，在变频器一侧也应采取相应的措施。

③ 当把变频器和 PLC 安装于同一操作柜中时，应尽可能使与变

频器有关的导线和与PLC有关的导线分开。

④ PLC 和变频器连接时，由于二者涉及用弱电控制强电，因此，应该注意连接时出现的干扰，避免由于干扰造成变频器的误动作，或者由于连接不当导致PLC或变频器损坏，其连线应使用屏蔽线和双绞线以提高抗噪声干扰的水平。

3.2 变频调速系统的检测器件

3.2.1 测速发电机

测速发电机是一种测量转速的信号元件，它将输入的转速信号变换为电压信号输出。这就要求测速发电机的输出电压与转速成正比关系。测速发电机一般用来测量和调节转速，或将它的输出电压反馈到电子放大器的输入端以稳定转速。测速发电机按电流种类可分为直流和交流测速发电机两种。

1．交流测速发电机

交流测速发电机分同步式和异步式两种，同步测速发电机又可分为永磁式、异步式和脉冲式3种。永磁式交流测速发电机实质上就是一台单相永磁转子同步发电机。异步式测速发电机的结构和两相交流伺服电动机类似。现以异步式测速发电机为例，介绍其工作原理。

异步式测速发电机的定子上装有两个绕组：一个称为励磁绕组，外加稳频稳压的交流电源励磁；另一个称为输出绕组，其两端的电压即为测速发电机的输出电压。定子的两个绕组的轴线互相垂直，在空间上相隔90°，其原理如图3-25所示。它的转子一般为杯形转子，通常是由铝合金制成的空心薄壁圆筒。此外，为了减小磁场的磁阻，在空心杯形转子内放置有固定的内定子。在分析电路时，空心杯形转子可视为由无数并联的导体条组成，与鼠笼转子一样。

测速发电机在静止时，将励磁绕组接到交流电源上，交流励磁电压U_1 为一定值，便有电流通过励磁绕组。此时在励磁绕

组的轴线方向上产生一个交变脉动磁通，其幅值设为Φ_1。由于磁通与输出绕组的轴线垂直，它与直轴磁通没有匝链，故输出绕组中并无感应电动势，输出电压为零。

当测速发电机由被测转动轴驱动而旋转时，转子切割直轴磁通Φ_1，并在转子中产生感应电动势E_r。由于转子绕组短路，感应电动势E_r就在转子绕组中产生短路电流I_r，该电流也是与励磁电源同频率的交流电，输出绕组则有电压U_2输出。输出电压U_2和励磁电压U_1的频率相同，U_2的大小和测速发电机的转速n成正比。通常测速发电机和电动机同轴相连，通过测速发电机的输出电压就可测量或调节电动机的转速。测速发电机的主要特性是输出电压为其转速的线性函数，其原理如下所述。

当测速发电机旋转时，在励磁绕组轴线方向上的脉动磁场为Φ_1，如图3-26所示。由$U_1 = 4.44f_1 N_1 F_1$可知，F_1正比于U_1。

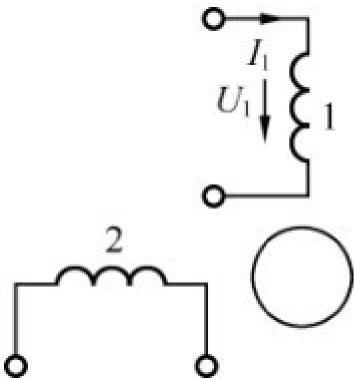


图3-25 交流测速发电机原理图（静止时）

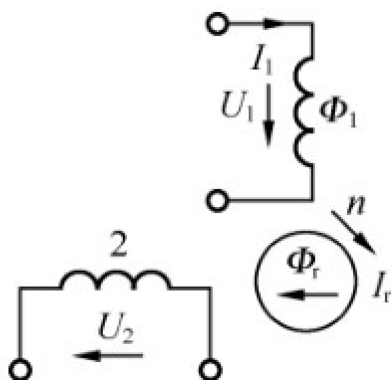


图3-26 交流测速发电机原理图

空心杯形转子在旋转时切割磁力线，而在转子中感应出电动势E_r 和相应的转子电流I_r ，转子中的电动势E_r 和电流I_r 与定子磁通Φ₁ 及转速n成正比，即

$$I_r \propto E_r \propto \Phi_1 \times n \qquad (3\text{-}2)$$

同样转子电流I_r产生磁通Φ_r，两者也成正比，即

$$\Phi_r \propto I_r \qquad (3\text{-}3)$$

转子电流I_r产生的磁通Φ_r与输出绕组的轴线一致，因此在其中感应出电动势，两端就有一个输出电压U_2 正比于Φ_r 。根据上述关系即得出

$$U_2 \propto \Phi_1 \times n \propto U_1 \times n \qquad (3\text{-}4)$$

上式表明，当励磁绕组加上电源电压U₁ ，测速发电机以转速n转动时，它的输出绕组就产生输出电压U₂ ，U₂ 的大小与转速n成正比。当转动方向改变时，U₂ 的相位也改变 180°。如果转子不动，输出电压为零，这样就把转速信号转换成电压信号。

实际上交流测速发电机没有像上面所述的那样理想，存在着一定的线性误差，主要由于Φ₁ 并非常数。因为励磁绕组与空心杯形转子间的关系相当于变压器原、副绕组间的关系，所以Φ₁ 是由励磁电流和转子电流共同产生的。而转子电动势

和转子电流与转速有关，因此当转速变化时，励磁电流I<sub>1</sub（> 还有励磁绕组的阻抗压降）和磁通Φ₁ 都将发生变化。这样就破坏了输出电压U₂ 与转速n之间的线性关系。

2．直流测速发电机

直流测速发电机的工作原理与一般直流发电机相同，在此主要介绍他励式直流测速发电机。他励式直流测速发电机的结构和直流伺服电动机一样，它的接线图如图3-27 所示。在恒定的磁场中，旋转的电枢绕组切割磁通，并产生感应电动势。由电刷两端引出的电枢感应电动势为

E＝T_E ×Φ×n （3-5）

式（3-5）表明直流测速发电机的电动势E是正比于磁通Φ与转速n的乘积的，在他励式直流测速发电机中，如果保持励磁电压U₁ 为定值，则磁通Φ也是常数。因此，E正比于n。在空载时，电枢电流I₂ ＝ 0，直流测速发电机的输出电压和电枢感应电动势相等，因而输出电压与转速成正比。直流测速发电机的输出电压（即电枢电压）为

U₂ ＝E－I₂ ×R_a ＝K_E ×Φ×n－I<su b>2</sub> × R_a （3-6）

因I₂ ＝U₂ /R_L ，于是有

U₂ ＝(K_E ×Φ)×n/(1＋R_a /R_L)（3-7）

式（3-7）表明直流测速发电机有负载时，如果Φ、R_a 及R_L 保持为常数，则输出电压 U₂ 在转速 n 的一定范围内保持一定的线性关系，超过一定转速时，输出电压U₂ 下降。不仅如此，当R_L 减小时，线性误差增大，特别是在高速时。图3-28所示是直流测速发电机的输出特性曲线U₂ ＝ f（n）。

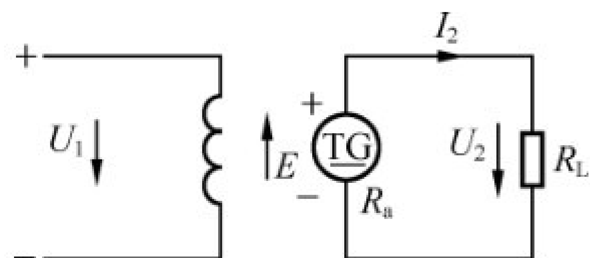


图3-27 他励式直流测速发电机接线图

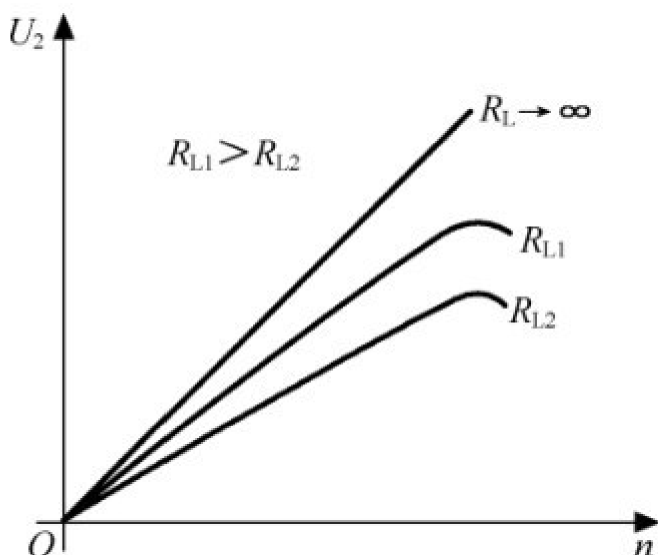


图3-28 直流测速发电机的输出特性曲线

直流测速发电机的线性误差主要由电枢反应引起，所谓电枢反应就是电枢电流I₂ 产生的磁场对磁极磁场的影响，使测速发电机的气隙磁通不再是一常数，而使测速电动机内的合成磁通小于磁极磁通。电流I₂ 越大，磁通Φ 就越小，线性误差就越大。所以，在直流测速发电机的技术数据中有“最小负载电阻和最高转速”一项，即在使用时所接的负载电阻不得小于这个数值，转速不得高于这个数值，否则线性误差将增大。

3.2.2 光电编码器

1．光电编码器的工作原理

光电编码器是一种通过光电转换将输出轴上的机械几何位移量转换成脉冲或数字量的传感器。光电编码器是一种集光、机、电为一体的数字化检测装置，它具有分辨率高、精度高、结构简单、体积小、使用可靠、易于维护、性价比高等优点，近十几年来发展为一种成熟的多规格、高性能的系列工业化产品，在数控机床、机器人、雷达、光电经纬仪、地面指挥仪、高精度闭环调速系统、伺服系统等诸多领域中得到了广泛的应用。光电编码器主要用于速度或位置（角度）的检测。典型的光电编码器由码盘（Disk）、检测光栅（Mask）、光电转换电路（包括光源、光敏器件、信号转换电路）和机械部件等组成。光电编码器的工作原理如图3-29所示，在圆盘上规则地刻有透光和不透光的线条，在圆盘两侧安放发光器件和光敏器件。当圆盘旋转时，光敏器件接收的光通量随透光线条同步变化，光敏器件的输出波形经过整形后变为脉冲，码盘上有相应的标志，每转一圈输出一个脉冲。此外，为判断旋转方向，码盘还可提供相位相差90°的两路脉冲信号。

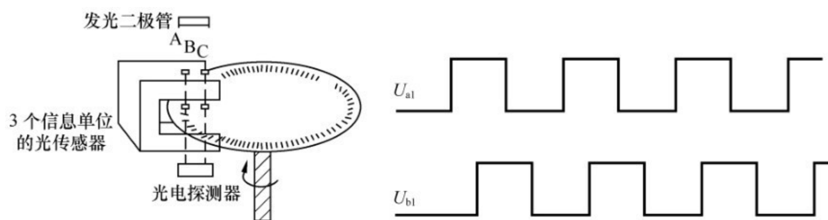


图3-29 光栅编码原理图及其输出的方波信号U_{a1} 和U_{a2}

2．光电编码器的分类

根据检测原理，编码器可分为光学式、磁式、感应式和电容式。按编码器运动部件的运动方式，可以分为旋转式和直线式两种。由于直线式运动可以借助机械连接转变为旋转式运动，反之亦然，因此，只有在那些结构形式和运动方式都有利于使用直线式光电编码器的场合才使用。旋转式光电编码器容易做成全封闭形式，易于实现小型化，具有较强的环境适应能力，因而在实际工业生产中得到广泛的应

用。根据其刻度方法及信号输出形式，可分为增量式、绝对式以及混合式3种。

3．增量式旋转编码器

（1）增量式旋转编码器的特性

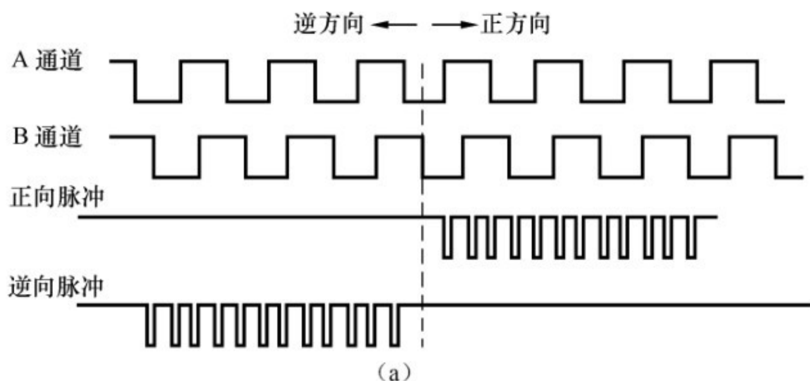
增量式旋转编码器的特点是每产生一个输出脉冲信号就对应于一个增量位移，但是不能通过输出脉冲区分出在哪个位置上的增量。它能够产生与位移增量等值的脉冲信号，其作用是提供一种对连续位移量离散化或增量化以及位移变化（速度）的检测方法，它是相对于某个基准点的相对位置增量，不能够直接检测出轴的绝对位置信息。一般来说，增量式旋转编码器是直接利用光电转换原理输出3组方波脉冲A、B和Z，A、B两组脉冲的相位差为90°，从而可方便地判断出旋转方向，同时还有用作参考零位的Z相标志（指示）脉冲信号，码盘每旋转一周，只发出一个标志信号。标志脉冲通常用来指示机械位置或对积累量清零。增量式光电编码器的优点是原理构造简单，机械平均寿命可达几万小时以上，分辨高抗干扰能力强，可靠性高，适合于长距离传输；其缺点是无法输出轴转动的绝对位置信息。

增量式旋转编码器主要由光源、码盘、检测光栅、光电检测器件和转换电路组成，码盘上刻有节距相等的辐射状透光缝隙，相邻两个透光缝隙之间代表一个增量周期。检测光栅上刻有A、B两组与码盘相对应的透光缝隙，用以通过或阻挡光源和光电检测器件之间的光线。它们的节距和码盘上的节距相等，并且两组透光缝隙错开 1/4 节距，使得光电检测器件输出的信号在相位上相差 90°电度角。当码盘随着被测转轴转动时，检测光栅不动，光线透过码盘和检测光栅上的透过缝隙照射到光电检测器件上，光电检测器件就输出两组相位相差 90°电度角的近似于正弦波的电信号。电信号经过转换电路处理后，可以得到被测轴的转角或速度信息。

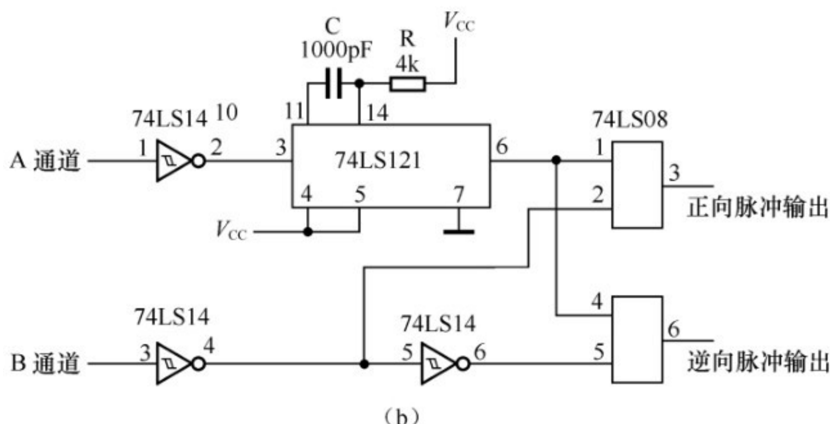
增量式旋转编码器的优点是：原理构造简单，易于实现；平均机械寿命长，可达到几万小时以上；分辨率高；抗干扰能力较强，信号传输距离较长，可靠性较高。其缺点是它无法直接读出转动轴的绝对位置信息。

增量式旋转编码器是以脉冲形式输出的传感器，其码盘比绝对式编码器的码盘要简单得多且分辨率更高，一般只需要3条码道，这里的码道实际上已不具有绝对式编码器码道的意义，而是产生计数脉冲。它的码盘的外道和中间道有数目相同且均匀分布的透光和不透光的扇形区（光栅），但是两道扇区相互错开半个区。当码盘转动时，它的输出信号是相位差为90°的A相和B相脉冲信号以及只有一条透光狭缝的第三码道所产生的脉冲信号（它作为码盘的基准位置，给计数系统提供一个初始的零位信号）。从 A、B 两个输出信号的相位关系（超前或滞后）可判断旋转的方向。由图3-30（a）可知，当码盘正转时A道脉冲波形比B道超前$\pi/2$，而反转时A道脉冲波形比B道滞后$\pi/2$。图3-30（b）所示是一个判别方向的实际电路，图中A通道整形波的下沿触发单稳态产生的正脉冲与B道整形波相“与”，当码盘正转时只有正向脉冲输出，反之，只有逆向脉冲输出。因此，增量式编码器是根据输出脉冲源和脉冲计数来确定码盘的转动方向和相对角位移量的。通常，若编码器有N个（码道）输出信号，其相位差为π/N，可计数脉冲为2N倍光栅数。

图 3-30（b）所示电路的缺点是有时会产生误计脉冲造成误差，这种情况出现在当某一道信号处于“高”或“低”电平状态时，而另一道信号正处于“高”和“低”之间的往返变化状态下，此时码盘虽然未产生位移，但是会产生单方向的输出脉冲，例如码盘发生抖动或手动对准位置时。



（a）



（b）

图3-30 增量式旋转编码器的基本波形和电路

图3-31（b）所示电路是一个既能防止误脉冲又能提高分辨率的4倍频细分电路。在电路中采用了有记忆功能的D触发器和时钟信号发生电路。由图3-31（b）可见，每一道有两个D触发器串接，这样在时钟脉冲的间隔中，两个Q端（如对应于B道的74LS175的②、⑦脚）保持前两个时钟期的输入状态，若两者相同，则表示时钟间隔中无变化；否则，可以根据两者的关系判断出它的变化方向，从而产生“正向”或“反向”输出脉冲。当某道由于振动在“高”、“低”间往复变化时，将交替产生“正向”和“反向”脉冲，这在对两个计数器取代数和时就可消除它们的影响。图3-31（b）所示电路中的时钟信号发生器的频率应大于振动频率的最大值。

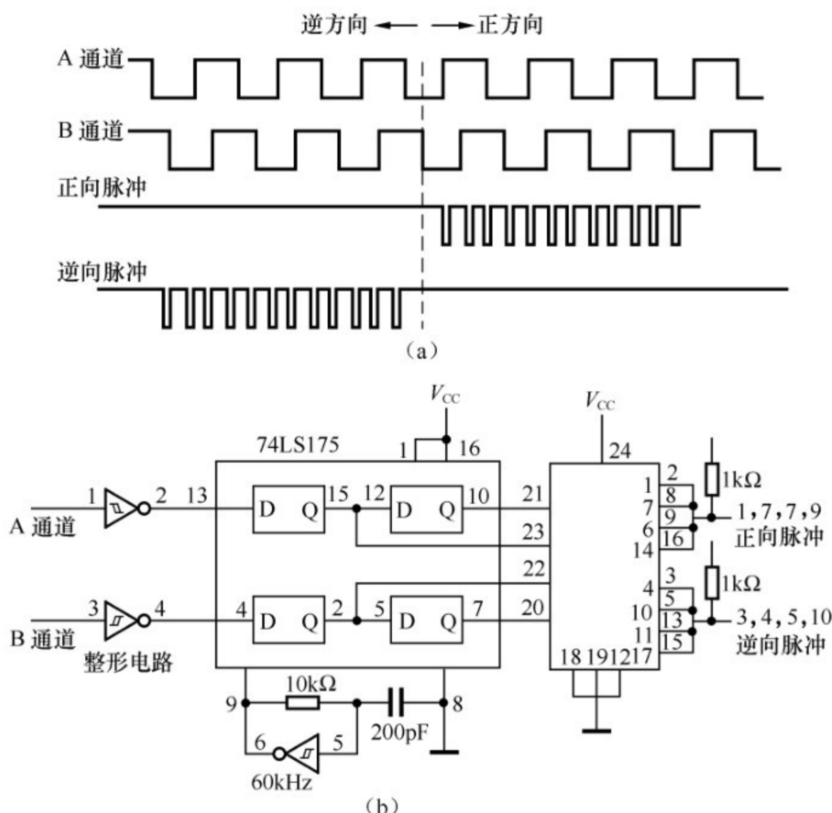


图3-31 4倍计数方式的波形和电路

由图3-31还可看出，在一个脉冲信号的周期内得到了4个计数脉冲。例如，每圈脉冲数为1000的编码器可产生4倍频的脉冲数（4000个），其分辨率为0.09°。实际上，目前这类传感器产品都将光敏器件输出信号的放大整形等电路与传感检测元件封装在一起，所以只要加上细分与计数电路就可以组成一个角位移测量系统。

增量式绝对值编码器为每一个轴的位置提供一个独一无二的编码数字值，特别是在定位控制应用中，绝对值编码器减轻了电子接收设备的计算任务，从而省去了复杂的、昂贵的输入装置，并且在控制系统接通电源或电源故障后再接通电源时，不需要回到位置参考点，而可利用当前的位置值。

（2）基本技术规格

在增量式旋转编码器的使用过程中，对于其技术规格通常会提出不同的要求，其中最关键的就是它的分辨率、精度、输出信号的稳定性、响应频率以及信号输出形式。

① 分辨率。增量式旋转编码器的分辨率是以编码器轴转动一周所产生的输出信号基本周期数来表示的，即脉冲数/转（PPR）。码盘上透光缝隙的数目就等于编码器的分辨率，码盘上刻的缝隙越多，编码器的分辨率就越高。在工业电气传动中，根据不同的应用对象，可选择分辨率通常为500～6000PPR的增量式光电编码器，最高可以达到几万PPR。交流伺服电机控制系统中通常选用分辨率为2500PPR的编码器。此外对光电转换信号进行逻辑处理，可以得到2倍频或4倍频的脉冲信号，从而进一步提高分辨率。

② 精度。增量式旋转编码器的精度与分辨率完全无关，这是两个不同的概念。精度是一种度量在所选定的分辨率范围内，任一脉冲相对于另一脉冲的位置的能力。精度通常用角度、角分或角秒来表示。编码器的精度与码盘透光缝隙的加工质量、码盘的制造精度等因素有关，也与安装技术有关。

③ 输出信号的稳定性。编码器输出信号的稳定性是指在实际运行条件下，保持规定精度的能力。影响编码器输出信号稳定性的主要因素是温度对电子器件造成的漂移、外界加于编码器的变形力以及光源特性的变化。由于受到温度和电源变化的影响，编码器的电子电路不能保持规定的输出特性，在设计和使用中都要给予充分考虑。

④ 响应频率。编码器输出的响应频率取决于光电检测器件和电子处理线路的响应速度。当编码器高速旋转时，如果其分辨率很高，那么编码器输出信号的频率将会很高。如果光电检测器件和电子线路中元器件的工作速度与之不能相适应，就有可能使输出波形严重畸变，甚至产生丢失脉冲的现象。这样输出信号就不能准确反映轴的位置信息。所以，每一种编码器在其分辨率一定的情况下，它的最高转速也是一定的，即它的响应频率是受限制的。

⑤ 信号输出形式。在大多数情况下，直接从编码器的光电检测器件获取的信号电平较低，波形也不规则，还不能适应于控制、信号处

理和远距离传输的要求。所以，在编码器内还必须对此信号进行放大、整形。经过处理的输出信号一般近似于正弦波或矩形波。由于矩形波输出信号容易进行数字处理，所以这种输出信号在定位控制中得到了广泛的应用。采用正弦波输出信号时基本消除了定位停止时的振荡现象，并且容易通过电子内插方法，以较低的成本得到较高的分辨率。增量式旋转编码器的信号输出形式有：集电极开路输出（Open Collector）、电压输出（Voltage Output）、线驱动输出（Line Driver）、互补型输出（Complemental Output）和推挽式输出（Totem Pole）。

• 集电极开路输出方式是通过使用编码器输出侧的NPN型晶体管，将晶体管的发射极引出端子连接至0V处，断开集电极与+V_{CC} 端子的连接并把集电极作为输出端。在编码器供电电压和信号接收装置的电压不一致的情况下，应使用这种类型的输出电路。

• 电压输出方式是通过使用编码器输出侧的NPN型晶体管，将晶体管的发射极引出端子连接至0V处，集电极端子与+V_{CC} 端子和负载电阻相连并作为输出端。在编码器供电电压和信号接收装置的电压一致的情况下，应使用这种类型的输出电路。

• 线驱动输出方式是将线驱动专用芯片（26LS31）用于编码器输出电路，由于它具有高速响应特性和良好的抗噪声性能，线驱动输出适用于长距离传输。

• 互补型输出方式是由上下两个分别为PNP型和NPN型的晶体管组成，当其中一个晶体管导通时，另外一个晶体管则关断。这种输出形式具有高输入阻抗和低输出阻抗，因此在低阻抗情况下它也可以提供大范围的电源。由于输入、输出信号的相位相同且频率范围宽，因此它适合长距离传输。

• 推挽式输出方式是由上下两个NPN型的晶体管组成，当其中一个晶体管导通时，另外一个晶体管则关断。电流通过输出侧的两个晶体管向两个方向流入，并始终输出电流。因此，它的阻抗低，而且不太受噪声和变形波的影响。

4．绝对式编码器

绝对式编码器是利用自然二进制或循环二进制（格雷码）方式进行光电转换的。绝对式

编码器与增量式编码器的不同之处在于圆盘上透光、不透光的线条图形不同，绝对式编码器可有若干编码，根据码盘上的编码检测绝对位置。编码的设计可采用二进制码、循环码、二进制补码等。它的特点如下。

① 可以直接读出角度坐标的绝对值。

② 没有累积误差。

③ 电源切除后位置信息不会丢失，但是分辨率是由二进制数的位数来决定的，也就是说精度取决于位数，目前有10位、14位等多种。

绝对式编码器是直接输出数字量的传感器，在它的圆形码盘上沿径向有若干同心码道，每条道由透光和不透光的扇形区相间组成，相邻码道的扇区数目是双倍关系，码盘上的码道数就是它的二进制数码的位数。在码盘的一侧是光源，另一侧对应于每一码道有一光敏器件。当码盘处于不同位置时，各光敏器件根据受光照与否转换出相应的电平信号，形成二进制数。这种编码器的特点是不要计数器，在转轴的任意位置都可读出一个固定的与位置相对应的数字码。显然，码道越多，分辨率就越高，对于一个具有N位二进制分辨率的编码器，其码盘必须有N条码道。目前国内已有 16位的绝对式编码器产品。

单圈绝对式编码器把轴细分成规定数量的测量步，最大的分辨率为13位，这就意味着最大可区分8192个位置。多圈绝对式编码器不仅能在一圈内测量角位移，而且能够用多步齿轮测量圈数。多圈的圈数为12位，也就是说最多有4096圈可以被识别。总的分辨率可达到25位或者33位，测量步数为554或432。并行绝对值旋转编码器的检测数据可通过几根电缆并行传送，可以用标准的接口和标准化的协议传送，也可通过点对点的连接实现串行数据传送。

5．编码器的命名方法

编码器的命名方法如图3-32所示。

6．编码器的性能

增量式编码器的转轴旋转时，有相应的脉冲输出，其计数起点任意设定，可实现多圈无限累加和测量。编码器的轴转一圈会输出固定的脉冲序列，脉冲数由编码器光栅的线数决定。需要提高分辨率时，可利用90°相位差的A、B两路信号进行倍频或更换高分辨率编码器。

绝对式编码器有与位置相对应的代码输出，通常为二进制码或BCD码。从代码数大小的变化可以判别正反方向和位移所处的位置，绝对零位代码还可以用于停电位置记忆。绝对式编码器的测量范围为0~360°。增量式编码器通常用于速度测量和长度测量。增量式编码器常用的光栅线数有 30、60、100、120、200、250、256、300、360、400、480、500、512、600、700、800、900、907、1000、1024、1200、1250、1440、1500、1800、2000、2048、2400、2500、2669、3000、3600、4000、4069、4500、5000、5400。

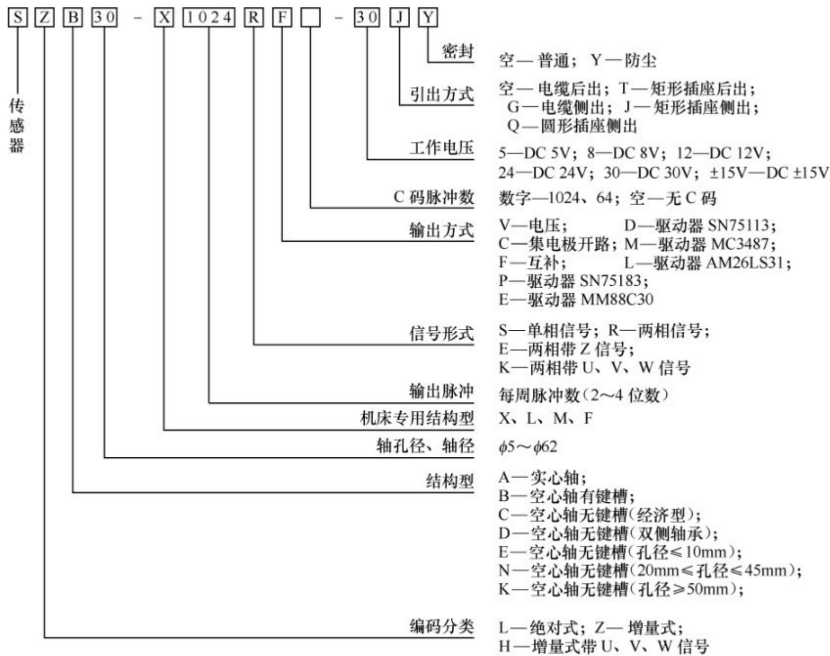


图3-32 编码器命名图示

常规编码器的信号输出方式、代号、输出电路及波形见表3-1。

表3-1 编码器的信号输出方式、代号、输出电路及波形

信号输出方式	代号	输出电路	波形（正转）
电压输出	RV EV	V_{CC} OUT 0V	A B Z X_1 X_2 X_3 X_4 T 波形比：$X_1+X_2=0.5T\pm0.1T$ $X_2\pm X_3=0.5T\pm0.1T$ $X_n\geqslant0.125T$（$n=1$，2，3，4） $Z=1T\pm0.5T$ 输出相位抖动不大于 10%，$T=360°/N$（N 为 A、B 相每转输出脉冲）
集电极开路输出	RC EC	OUT 0V	
互补输出	RF EF	V_{CC} OUT OV	

续表

信号输出方式	代号	输出电路	波形（正转）
长线驱动器输出	RD ED	D Q $\overline{Q}$ SN75113　L Q $\overline{Q}$ AN26LS31　P 1/2 Q $\overline{Q}$ SN75103	A $\overline{A}$ B $\overline{B}$ Z $\overline{Z}$ X_1 X_2 X_3 X_4 T 波形比：$X_1+X_2=0.5T\pm0.1T$ $X_2+X_3=0.5T\pm0.1T$ $X_n\geqslant0.125T$（$n=1$，2，3，4） $Z=1T\pm0.5T$ 输出相位抖动不大于 10%， $T=360°/N$（N 为 A、B 相每转输出脉冲）
	RL EL RP EP		
	RM EM	M Q $\overline{Q}$ MC3487　E Q $Q=A\cdot B\cdot Z$ $\overline{Q}$ $\overline{Q}=\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot\overline{Z}$ MM88C30	
	RE EE		

常规编码器的工作电压有 5V、12V、24V、5～24V（通用型）、5～30V，防护性能有防油、防尘、抗震型。

编码器的轴与被检测装置的轴连接时，存在同轴误差，严重时将损坏编码器。要求采用弹性联轴器（编码器厂家提供选件），以解决连接中的偏心问题。一般可以做到：允许转矩小于 1N·m，不同轴度小于 0.2mm，轴向偏角小于 1.5°。弹性联轴器的常用规格见表3-2。

表3-2 弹性联轴器常用规格

编码器端孔径（mm）	用户端孔径（mm）
4、5、6、8、10、15	4、5、6、6.35、8、10、15

7．EPC-755A型编码器

EPC-755A是美国Encoder Products公司生产的微型光电编码器，具有质量小、体积小、耐碰撞、易安装等优点，其直径和长度均为1.5英寸（1英寸 = 2.54cm），采用能保证多年可靠工作的金属结构，具有多种灵活的安装方式，能大大降低安装成本。该光电编码器的输出为双通道正交信号，具有校正基准信号，可以方便地实现双向计数。EPC-755A 型增量式编码器外形小巧，采用全金属结构，使坚固性和抗干扰性能得以提高。EPC-755A 型增量式编码器采用轴封滚珠轴承，提高了转动部分的耐用性，并提供多种EPC首创的簧片和沟槽式簧片安装模式。此种安装模式不仅便于安装，也可保证安装精度。半通孔孔径可达 14mm，有多种孔径可供选择。

（1）EPC-755A型编码器的主要性能参数

EPC-755A型编码器的主要性能参数如下。

① 输入电压：DC5 ~ 28V（最小4.75V，最大28.0V）。

② 输出电流：最大100mA。

③ 输出信号：2路计数脉冲，1路基准脉冲。

④ 基准信号：每圈输出1个脉冲，中心与通道A的波形重合。

⑤ 测量范围：最大可测旋转速度为7500r/min。

⑥ 工作温度：最高可达100℃。

⑦ 频率响应：100kHz，最高200kHz。

⑧ 分辨率：最低1个脉冲/圈，最高6000个脉冲/圈，中间有55种分辨率可供选择。

⑨ 安装方式：柔性方式、伺服方式、法兰盘方式。

⑩ 使用寿命：平均10万小时。

⑪ 质量：柔性方式100g，伺服方式90g。

⑫ 转轴方向：双向。

⑬ 工作精度：两圈间误差不大于 ± 0.01°。

（2）应用领域

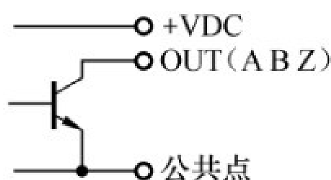
EPC-755A型编码器广泛应用于伺服电动机控制、机器人技术、医疗诊断器械、专业包装机械、数字绘图仪、打印机、排版和印刷机等精密智能检测领域。

（3）输出电路与输出信号

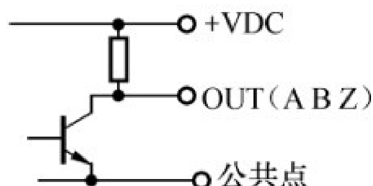
EPC-755A系列光电编码器有各种不同类型的输出电路可供选择，如集电极开路的NPN型、带上拉电阻的NPN型、差分输出型、推挽输出型，如图3-33所示。

带上拉电阻型和集电极开路型的最大灌电流为 100mA；推挽输出型的最大输出电流为50mA；差分输出型的输入电压为DC5V时，其输出满足RS-422要求。

图3-34给出了光电编码器的输出信号，对于差分输出型有6个通道输出信号A、A、B、B、Z、Z，其他类型有3个通道输出信号A、B、Z。顺时针旋转时，通道A的输出波形超前通道B的波形90°；逆时针旋转时，通道A的输出波形滞后通道B的波形90°。光电编码器每旋转一圈，输出一个基准脉冲，基准脉冲的波形中心对准通道A输出波形的中心。



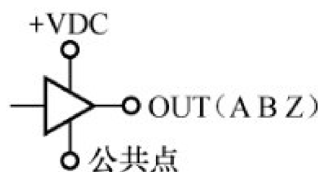
（a）集电极开路的 NPN 型



（b）带上拉电阻的 NPN 型



（c）差分输出型



（d）推挽输出型

图3-33 光电编码器输出电路的类型

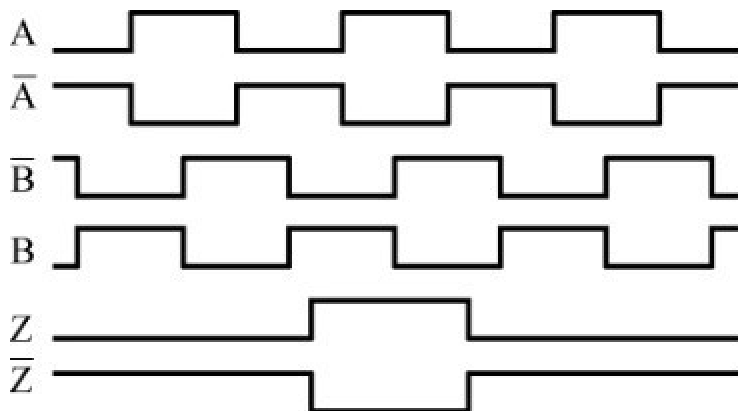


图3-34 顺时针旋转的输出消耗波形

8．编码器的选择方法

应在满足控制系统技术要求的前提下，再考虑编码器的成本因素，其选择方法如下。

① 分辨率和精确度的选择。在考虑组装机械装置和控制系统的要求精度与机器的成本的基础上选择最合适的机型，精度一般选择机械综合精度的1/2～1/4。

② 外形尺寸。选择时要充分考虑安装空间，并选定轴的类型（中空或杆轴类型）。

③ 轴允许负载。选择时要考虑到不同安装方式下不同类型编码器轴的负载状态以及编码器的机械寿命。

④ 最大允许转速。编码器的最大允许转速应根据机械最大转速选定。

⑤ 最高响应频率。编码器的最高响应频率应根据机械装置应用时轴的最大转速确定，其工程计算公式如下。

最大响应频率＝(转速/60)×分辨率　（3-8）

由于实际的信号周期有一定波动，所以选定时要针对上述的计算值进行选择并留有余量。

⑥ 保护结构。保护结构的选定要根据应用环境上的灰尘、水、油等程度而定，对于灰尘污染环境选择灰-IP50型，对于水、油污染环境

选择水油-IP52（f）型、IP64（f）型（防滴、防油）。

⑦ 输出电路形式。选择编码器输出电路的形式时要考虑连接的后端设备的信号频率、传送距离、噪声环境等；长距离输送时，要选择线路中继器。

9．光电编码器的安装

（1）安装要求

编码器在安装过程中要轻拿轻放，请勿敲击。尽量实现软连接（编码器内部为精密仪器），并且要使所安装的编码器轴与被检测装置的轴同步，并保证转动平稳、无震动，高速旋转时不打滑。

光电编码器安装完毕后，要进行正确性测试。可以通过系统中的码盘来检测光电编码器的性能，也就是监测系统显示的每道脉冲数和系统检测到的机械速度，并检测编码器的速度显示是否与被检测装置的实际速度相符。

（2）控制单元的安装

安装编码器时应防止金属碎屑进入顶部插座，将编码器的控制单元固定于机组正面明显且易操作的地方。记录每组控制单元侧面的编号，并记录各个控制单元安装在哪个机组上，防止安装过程中损坏标签而给后面的调试工作带来不便。

（3）安装中的注意事项

编码器属于高精密仪器，安装时不得敲击和碰撞。轴端连接应避免刚性连接，而应采用弹性联轴器、尼龙齿轮或同步带连接传动。使用转速不要超过标称转速，否则会影响电气检测信号。

空心轴编码器与电动机轴的固定有3种方式：第一种是键槽连接，采用平键与电动机轴固定；第二种是不锈钢空心轴、无键槽锁紧环固定；第三种是空心轴直接加顶丝固定。安装时编码器空心轴与电动机轴应是间隙配合，不能过紧或过松，定位键也不得过紧，严禁敲打装入。有锁紧环的编码器在未装入电动机轴前严禁锁紧，以防止轴壁永久变形，避免编码器因此造成装卸困难。实心轴编码器与系统必须经弹性联轴器连接，安装精度应保证：偏心度不大于0.2mm，偏角不大于2°，轴向窜动量不大于0.05mm。

编码器的输出电缆不能与动力线同槽敷设，以免感应干扰导致故障。安装中应确保接线正确，错误接线将损坏编码器内部的元器件。

一般编码器的工作电源有3种：DC5V、DC5～13V及DC11～26V。编码器如是并行输出，需了解编码器的信号电平是采用推拉式（或称推挽式）输出方式还是采用集电极开路输出方式，如是集电极开路输出的，有NPN型和PNP型两种，需与I/O极性相同。编码器如是驱动器输出，一般信号电平为5V，连接时不要让24V的电源电平串入5V信号接线中去而损坏编码器的信号端。和变频器配用的旋转编码器通常为二相（A相和 B 相）原点输出型，其输出信号分为两相，即A相和B相。两者在相位上互差90°± 45°（见图3-35），其和分别是A相和B 相的“非”。每旋转一圈，编码器输出的脉冲数可根据情况选择。例如，TRD-J系列编码器的脉冲数为每圈 10～1000，分 16 挡供选择。Z相为原点标记，其特点是：每转一圈只输出一个相位固定的脉冲，作为原点的标志。

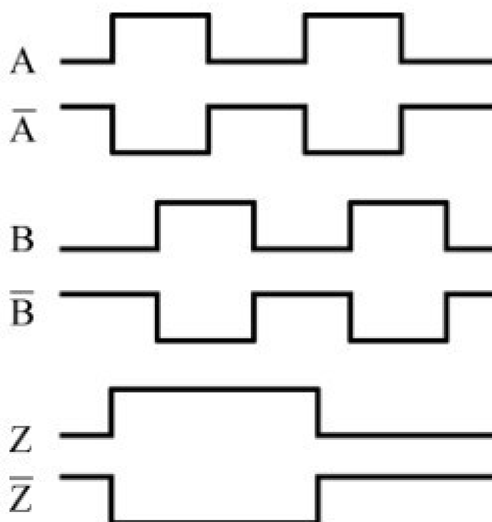
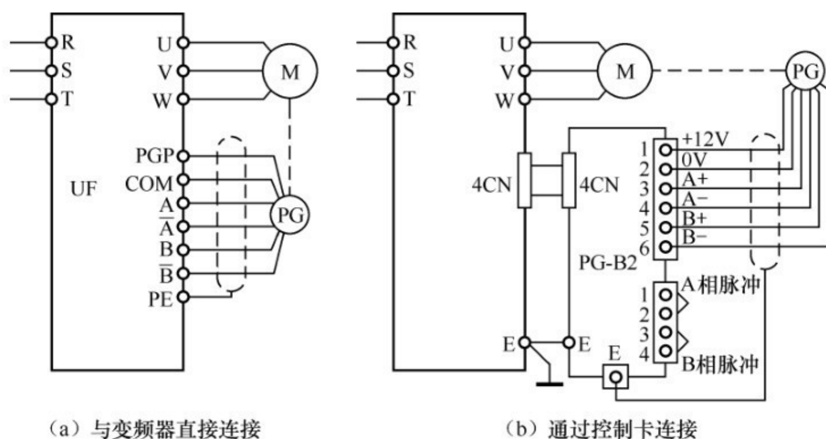


图3-35 编码器的输出信号

编码器与变频器的接线方式主要有两种：一种是直接连接，例如艾默生TD3000系列变频器和编码器之间的连接，如图3-36（a）所

示；另一种类型须配置专用的PG速度控制卡，如图3-36（b）所示。将控制卡PG-B2插入变频器的相关插座4CN中，再将PG的引出线接至控制卡上。



（a）与变频器直接连接　（b）通过控制卡连接

图3-36 编码器与变频器的连接

3.2.3 接近开关

1．接近开关的种类

在各类开关中，有一种对接近它的物件有“感知”能力的元件，被称为位移传感器。利用位移传感器对接近物体的敏感特性达到开通或断开目的的开关就是接近开关。接近开关的作用是当某物体与接近开关接近并达到一定距离时，位移传感器才有“感知”，能发出信号，通常把这个距离叫做检出距离，不同接近开关的检出距离也不同。它不需要施加外力，是一种无触点式的主令电器，它的用途已远远超出行程开关所具备的行程控制及限位保护功能。有时被检测验物体是按一定的时间间隔一个接一个地移向接近开关，又一个一个地离开，这样不断地重复。不同的接近开关对检测对象的响应能力是不同的。这种响应特性被称为响应频率。接近开关可用于高速计数、检测金属体的存在、测速、液位控制、检测零件尺寸以及用作无触点式按钮等。

因为位移传感器可以根据不同的原理和不同的方法构成，而不同

的位移传感器对物体的“感知”方法也不同。接近开关按工作原理可以分为以下几种类型。

① 电磁感应型。电磁感应型开关也称为电感式接近开关。导电物体在接近这个能产生电磁场的接近开关时，该物体内部产生涡流，这个涡流反作用到接近开关上，使开关内部电路参数发生变化，由此识别出有无导电物体移近，进而控制开关的通或断。这种接近开关所能检测的物体必须是导电体。

② 电容式。电容式接近开关的测量元件通常是电容器的一个极板，而另一个极板是开关的外壳。这个外壳在测量过程中通常接地或与设备的机壳相连接。当有物体移向接近开关时，不论它是否为导体，由于它的接近总要使电容器的介电常数发生变化，从而使电容量发生变化，使得和测量头相连的电路状态也随之发生变化，由此便可控制开关的接通或断开。这种接近开关检测的对象不限于导体，也可以是绝缘的液体或粉状物等。

③ 光电型。利用光电效应做成的开关叫光电开关，它将发光器件与光电器件按一定方向装在同一个检测头内。当有反光面（被检测物体）接近时，光电器件接收到反射光后便有信号输出，由此便可“感知”有物体接近。

④ 霍尔型。霍尔元件是一种磁敏元件，利用霍尔元件做成的开关叫做霍尔接近开关。当磁性物件移近霍尔接近开关时，开关检测面上的霍尔元件因产生霍尔效应而使开关内部电路的状态发生变化，由此识别附近有磁性物体存在，进而控制开关的通或断。这种接近开关的检测对象必须是磁性物体。

⑤ 热释电式。用能感知温度变化的元件做成的开关叫热释电式接近开关。这种开关将热释电器件安装在检测面上，当有与环境温度不同的物体接近时，热释电器件的输出发生变化，由此便可检测出有物体接近。

⑥ 多普勒效应式。当观察者或系统相对于波源的距离发生变化时，接收到的波的频率会发生偏移，这种现象称为多普勒效应。声纳和雷达就是利用这个原理制成的。利用多普勒效应可制成超声波接近

开关、微波接近开关等。当有物体移近时，接近开关接收到的反射信号会产生多普勒效应，由此可以识别出有无物体接近。

在一般的工业生产场所，通常都选用电磁感应式接近开关和电容式接近开关，因为这两种接近开关对环境的要求较低。当被测对象是导电物体或可以固定在一块金属物上的物体时，一般都选用电磁感应式接近开关，因为它的响应频率高，抗环境干扰性能好，应用范围广，价格较低。若所测对象是非金属（或金属）物体、液位高度、粉状物高度、塑料、烟草等，则应选用电容式接近开关。这种开关的响应频率低，但稳定性好。若被测物为导磁材料或者为了区别和它一同运动的物体而把磁钢埋在被测物体内时，应选用霍尔接近开关，它的价格最低。

安装接近开关时应考虑环境因素的影响，在环境条件比较好、无粉尘污染的场合，可采用光电接近开关。光电接近开关工作时对被测对象几乎无任何影响。在防盗系统中，自动门通常使用热释电接近开关、超声波接近开关、微波接近开关。有时为了提高识别的可靠性，上述几种接近开关往往被复合使用。无论选用哪种接近开关，都应注意接近开关对工作电压、负载电流、响应频率、检测距离等各项指标的要求。

2．接近开关的功能

接近开关是一种开关型传感器（即无触点开关），它既具有行程开关、微动开关的特性，又具有传感性能，且动作可靠，性能稳定，频率响应快，使用寿命长，抗干扰能力强，并具有防水、防震、耐腐蚀等特点。

接近开关是理想的电子开关量传感器，当金属检测体接近开关的感应区域时，开关就能无接触、无压力、无火花地迅速发出电气指令，准确反映出运动机构的位置和行程。用于一般的行程控制，其定位精度、操作频率、使用寿命、安装调整的方便性和对恶劣环境的适应能力，是一般机械式行程开关所不能相比的。接近开关的主要功能如下。

① 距离检测：如检测电梯、升降设备的停止、启动；检测车辆的

位置，防止两物体相撞；检测工作机械的设定位置、移动机器或部件的极限位置；检测回转体的停止位置、阀门的开关位置；检测汽缸或液压缸内活塞的移动位置。

② 尺寸检测：如鉴别金属件的长度，检测自动装卸时堆物高度，检测物品的长、宽、高和体积。

③ 检测物体存在与否：如检测生产包装线上有无产品包装箱，检测有无产品零件。

④ 转速与速度控制：如检测传送带的运动速度、旋转机械的转速。

⑤ 物体计数：如检测生产线上流过的产品数、高速旋转轴或盘的转数。

⑥ 物体异常检测：如检测有无瓶盖，产品是否合格；检测包装盒内的金属制品缺少与否；区分金属与非金属零件；检测产品有无标牌；有无起重机危险区报警；检测安全扶梯能否自动启停。

⑦ 计量控制：如对产品或零件进行自动计量；检测计量器、仪表的指针范围而控制数量或流量；检测浮标液面高度、流量；仪表量程上限或下限控制；流量控制、水平面控制。

⑧ 对象识别：可根据载体上的码识别是与非。

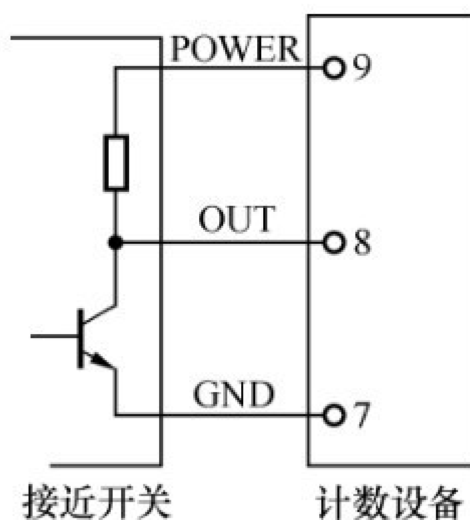


图3-37 通用接近开关接线图

⑨　信息传送：采用ASI（总线）连接设备上各个位置的传感器，往传输生产线（50～100m）中的数据。

通用的接近开关一般有3个引出端：电源端（POWER）、OV端（GND）、信号输出端（OUT）。电源电压一般是DC 5V、DC12V、DC24V，而有的适用电压为DC 5～30V，比如KOYO等。通用接近开关的接线如图3-37所示。

3．电感式接近开关

电感式接近开关是一种有开关量输出的位置传感器，它由LC高频振荡器和放大处理电路组成，金属物体在接近这个能产生电磁场的振荡感应头时，其内部产生涡流。这个涡流反作用于接近开关，使接近开关的振荡能力衰减，内部电路的参数发生变化，由此识别出有无金属物体接近，进而控制开关的通断。电感式接近开关所能检测的物体必须是金属物体，其检测衰减系数见表3-3。

表3-3 部分常用材料的衰减系数

材　料	衰减系数	材　料	衰减系数
钢	1	黄铜	0.3
不锈钢	0.85	铜	0.4

电感式接近开关的工作流程如图3-38所示。

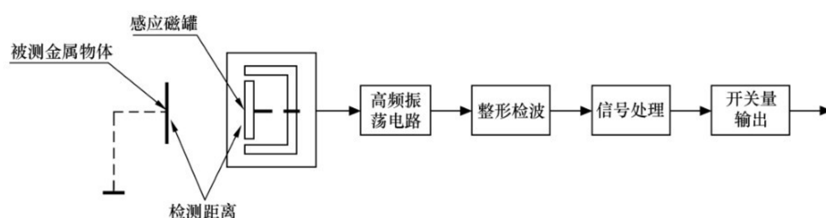


图3-38 电感式接近开关工作流程方框图

（1）技术术语

图3-39为电感式接近开关的检测示意图。在电感式接近开关的应用设计中，需掌握的技术术语如下。

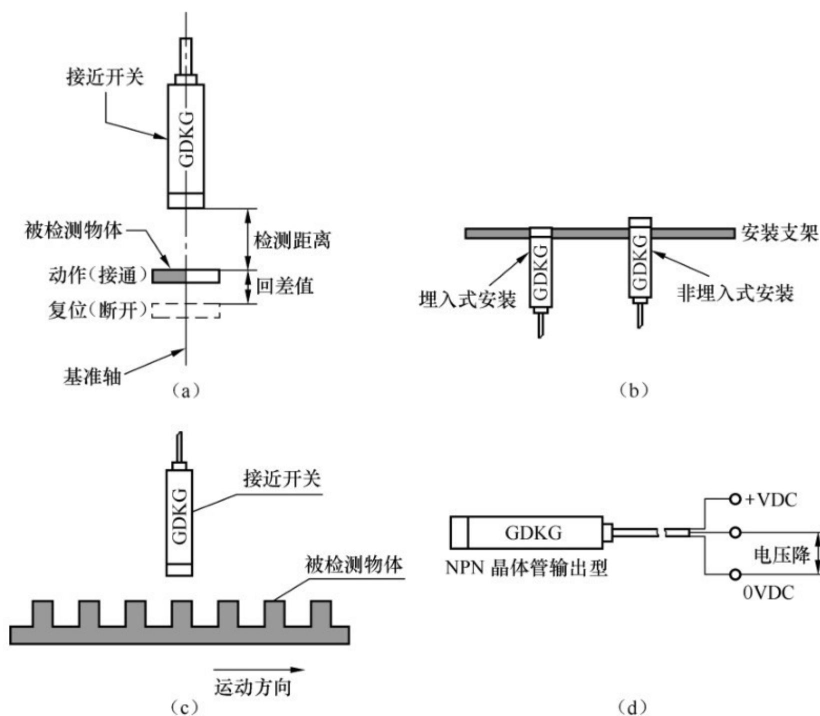


图3-39 电感式接近开关检测示意图

① 动作距离。电感式接近开关的动作距离是指检测体按一定方式移动时，基准位置（接近开关的感应表面）与开关动作时检测面之间的空间距离。额定动作距离是指接近开关动作距离的标称值。

② 设定距离。设定距离为电感式接近开关在实际工作中整定的距离，一般为额定动作距离的80%。

③ 回差值。接近开关的回差值为动作距离与复位距离之差的绝对值。

④ 标准检测体。标准检测体为可使接近开关作比较的金属检测体。电感式接近开关采用的检测体为正方形的A3钢，厚度为1mm，所采用的边长是接近开关检测面边长的2.5倍。

⑤ 输出状态。电感式接近开关的输出状态分常开和常闭两种。当无检测物体时，常开型接近开关所接的负载由于接近开关内部输出晶体管的截止而不工作；当检测到物体时，晶体管导通，负载得电工

作。

⑥ 检测方式。电感式接近开关的检测方式分为埋入式和非埋入式两种：埋入式接近开关在安装上为齐平安装型，可与安装的金属物件形成同一表面；非埋入式接近开关则需把感应头露出，以达到其长检测距离的目的。

⑦ 响应频率f。电感式接近开关的响应频率f是指在规定的1s时间间隔内，电感式接近开关动作循环的次数。

⑧ 响应时间t。响应时间t为电感式接近开关检测到物体时间到接近开关出现电平状态转换的时间差，可用下式换算。

$$t=1/f \tag{3-9}$$

⑨ 导通压降。导通压降为接近开关在导通状态下，其内部输出晶体管上的电压降。

⑩ 输出形式。以NPN型输出的接近开关为例，分NPN二线、NPN三线、NPN四线等类型。以PNP型输出的接近开关为例，分PNP二线、PNP三线、PNP四线等类型。

（2）接线图

电感式接近开关的接线如图3-40所示。

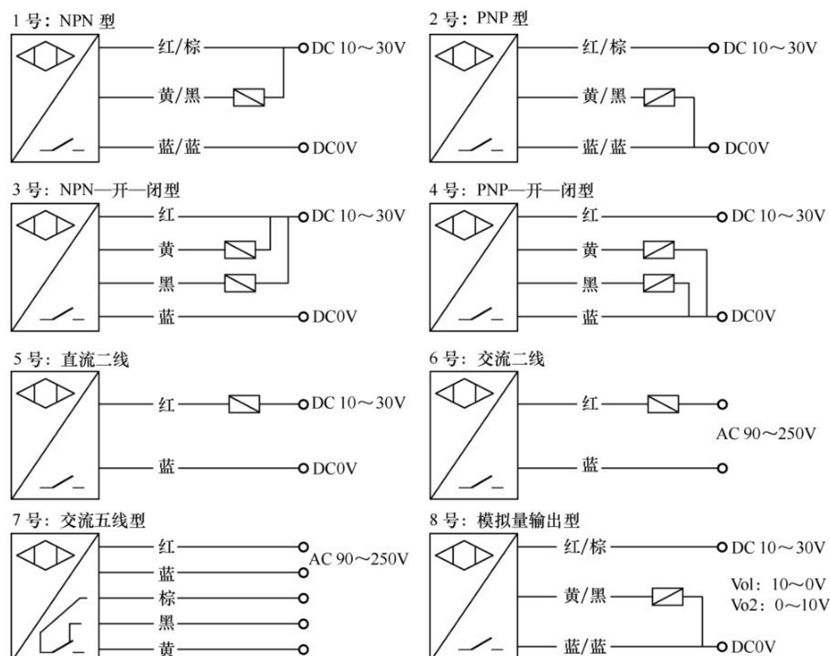


图3-40 电感式接近开关接线图

（3）使用电感式接近开关时的注意事项

使用电感式接近开关时应注意的事项如下。

① 电感式接近开关不能检测非金属物体，另外很薄的镀膜层也是检测不到的。

② 电感式接近开关的接通时间为50ms，所以在应用设计中，当负载和接近开关采用不同的电源时，应先接通接近开关的电源。

③ 当使用感性负载（如灯、电机等）时，其瞬态冲击电流较大，可能劣化或损坏交流二线式接近开关。在这种情况下，应增设交流继电器作为转换环节。

④ 电感式接近开关不能在0.02T以上的直流磁场环境下使用，否则将发生误动作。

⑤ 直流二线接近开关具有 0.5～1mA 的静态泄漏电流，在一些对接近开关的泄漏电流要求较高的场合应选用直流三线接近开关，以提高抗干扰能力。

⑥ 避免接近开关在化学溶剂特别是强酸、强碱的环境下使用。

⑦ 接近开关在接通电源前，应检查接线是否正确，核定电压是否为额定值。

⑧ 为了使接近开关长期稳定工作，应进行定期维护，包括检测物体和接近开关的安装位置是否有移动或松动，接线和连接部位是否接触不良，是否有金属粉尘黏附。

⑨ 接近开关通常已内置“通电延时”保护，在选用时应按产品说明使用。

⑩ 三线制接近开关通常已内置齐纳二极管，但其容量毕竟有限，应用中应增设继电器转换或并联的保护二极管。

4．电容式接近开关

电容式接近开关亦是一种具有开关量输出的位置传感器，它的测量头构成电容器的一个极板，而电容器的另一个极板是被检测物体本身。当物体移向接近开关时，物体和接近开关的介电常数发生变化，使得被检测的物体和电容式接近开关测量头相连的电路状态也随之发生变化，由此便可控制开关的接通和关断。电容式接近开关可检测的物体不限于金属导体，也可以是绝缘的液体或粉状物体，在检测较低介电常数的物体时，可以顺时针调节多圈电位器（位于开关后部）来增加感应灵敏度。一般调节电位器使电容式接近开关在（0.7～0.8）S_n （S_n 为电容式接近开关的标准检测距离）的位置动作。电容式接近开关的工作流程如图3-41所示。部分常用材料的介电常数见表3-4。

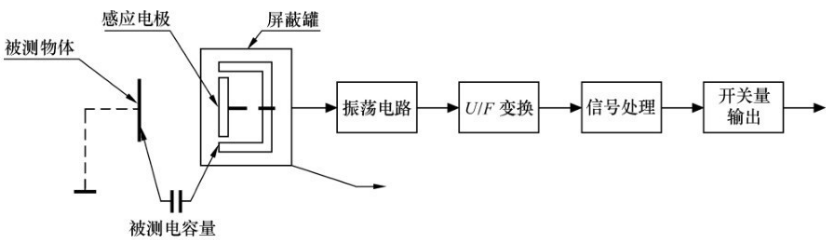


图3-41 电容式接近开关工作流程方框图

表3-4 部分常用材料的介电常数

材　　料	介 电 常 数	材　　料	介 电 常 数
水	80	软橡胶	2.5
大理石	8	松节油	2.2
云母	6	水	80
陶瓷	4.4	酒精	25.8
硬橡胶	4	电木	3.6

续表

材　　料	介 电 常 数	材　　料	介 电 常 数
玻璃	5	电缆	2.5
硬纸	4.5	油纸	4
空气	1	汽油	2.2
合成树脂	3.6	聚丙烯	2.3
赛璐璐	3	苯丙烯	2.9
普通纸	2.3	纸碎屑	4
有机玻璃	3.2	石英玻璃	3.7
聚乙烯	2.3	硅	2.8
苯乙烯	3	变压器油	2.2
石蜡	2.2	木材	2.7
石英砂	4.5		

（1）安装要求

图3-42为电容式接近开关的安装示意图，图中各符号的含义见表3-5。

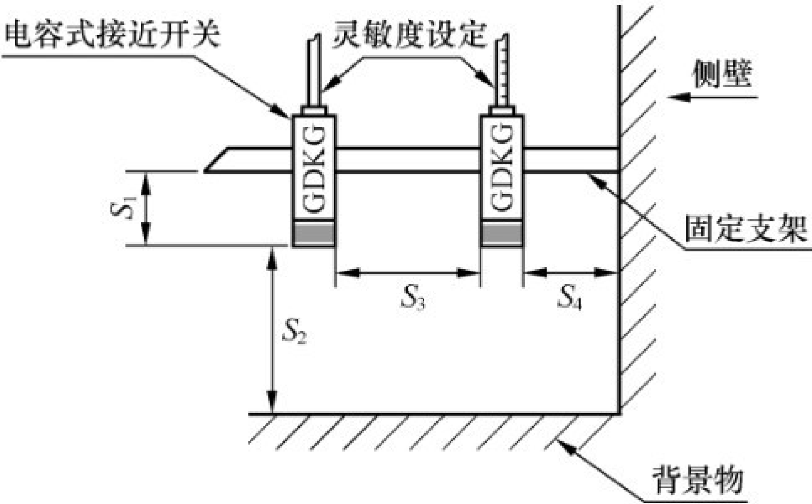


图3-42 电容式接近开关的安装示意图

表3-5 图3-42中各符号的含义

符　　号	安 装 距 离	说　　明
S_1	≥1S_n	检测面与固定支架的间距
S_2	≥3S_n	检测面与背景物的间距
S_3	≥5S_n	并列安装间距
S_4	≥3S_n	检测面与侧壁的间距

注：① S_n 为电容式接近开关的标准检测距离。

② 高防水等级的产品均不具备灵敏度调节功能，另外其检测距离为标准值的1/2或1/3甚至更小。

（2）技术术语

电容式接近开关的技术术语与电感式接近开关相同。

（3）接线图

电容式接近开关的接线如图3-43所示。

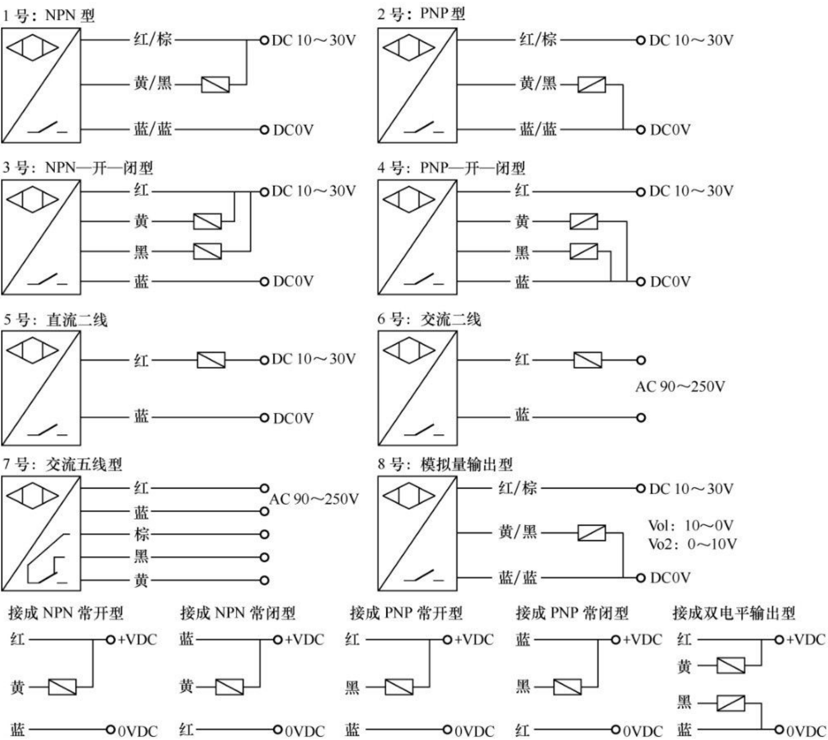


图3-43 电容式接近开关接线图

（4）使用电容式接近开关时的注意事项

使用电容式接近开关时应注意的事项如下。

① 电容式接近开关理论上可以检测任何物体，当检测介电常数过高的物体时，检测距离要明显减小，这时即使提高灵敏度也起不到效果。

② 电容式接近开关的接通时间为50ms，所以在电容式接近开关的应用设计中，当负载和接近开关采用不同电源时，应先接通接近开关的电源。

③ 当使用感性负载（如灯、电机等）时，其瞬态冲击电流较大，可能劣化或损坏交流二线电容式接近开关。在这种情况下，应增设中间继电器作为负载来转换使用。

④ 电容式接近开关不能在0.02T以上的直流磁场环境下使用，否则将发生误动作。

⑤ 直流二线接近开关具有0.5～1mA的静态泄漏电流，在一些对接近开关泄漏电流要求较高的场合应采用直流三线接近开关，以提高抗干扰性能。

⑥ 避免接近开关在化学溶剂特别是在强酸、强碱的环境下使用。

⑦ 由于其受潮湿、灰尘等因素的影响比较大，应对电容式接近开关进行定期的维护，包括检测物体和接近开关的安装位置是否有变化，接线和连接部位是否接触不良，是否有粉尘黏附。

5．接近开关应用电路

接近开关是一种用于感应测量的非接触型传感器件，通常有二线制和三线制之分，目前各行业大都采用二线制接近开关进行转速或工件的计量。图 3-44 所示是德国产 VARIKONT接近开关的典型测量电路（国产接近开关测量方法相同）。$+V_{s}$ 为测试电路的供电电源，$+V_{r}$ 为测试点，电阻R的阻值为2kΩ。实际测量结果如表3-6及图3-45所示。

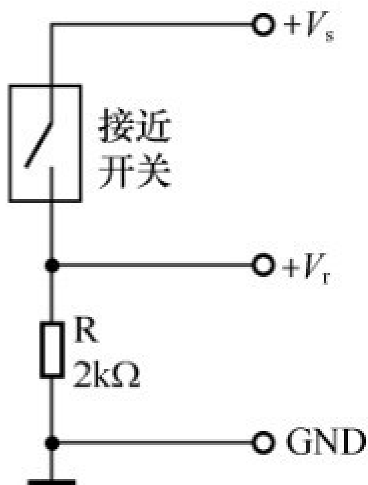


图3-44 接近开关的典型测量电路

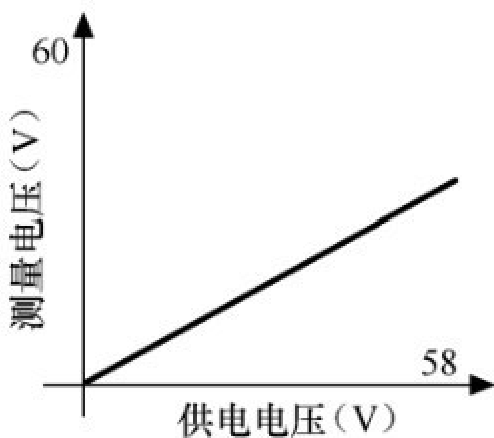


图3-45 接近开关实际测量数据

表3-6 实际测量数据

供电电压	测量电压		供电电压与感应电压之差	感应距离
	空载	感应		
8～60V	总是 1V	在 3～55V 之间线性变化	总是 5V	总是 10mm

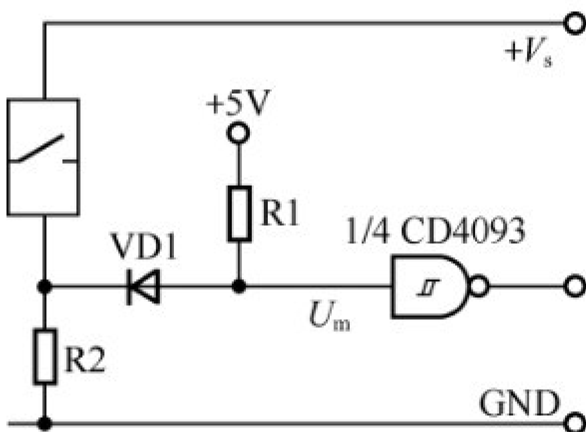


图3-46 接收器前置电路

图 3-46 所示是根据上述测量结果设计的一种性能优越的接收器前置电路。VD1 选择硅二极管时其导通电压为0.7V，R2即为图3-44中的R（2kΩ），其工作原理如下。

当接近开关未受感应时，VD1反向端的电压为1V，此时VD1导通，在VD1的正向端得到 1V加上 0.7V的电压，即 1.7V电压。当传感器受到感应后，在 VD1的反向端得到3～5V的电压，其值小于4.3V时，VD1导通，在VD1的正向端最小可得到3.7V的电压。当反向电压足够大时，VD1截止，其正向端电流通过R1可得到5V的电压。当供电电压在 8～60V之间变化时，U_m 在 1.7～3.7V之间变化，这一变化正好符合施密特触发器的翻转要求。

当U_m 为1.7V时，不足以使施密特触发器发生翻转，其输出为5V；当U_m 为3.7V时，施密特触发器发生翻转，其输出为0V。该电路具有以下优点。

① 选取反压足够高的二极管 VD1，可以保护前置电路在外部接收器搭接比较高的电压时不受损害。适当选取R1 的阻值（100k□），当接收器外部短路时，由于R1 的限流作用，+5V电源可得以很好的保护。

② 接近开关可以在较宽的范围内选择供电电压，同时该电路还适用于机械式开关。当该电路用于机械开关时，CD4093 的作用可以极

大地降低机械开关触点接触时产生的不规则干扰脉冲。

3.2.4 光电开关

1．光电开关的构成

光是一种电磁射线，其特性如同无线电波和X射线，传递速度约为300000km/s，因此它可以在发射的一瞬间被接收。红外线光电开关是利用人眼不可见（波长为780nm～1mm）的近红外线和红外线来检测和判别物体，通过光电装置瞬间发射的微弱光束能被安全、可靠、准确地发射和接收。

光电开关的重要功能是能够处理光的强度变化，其利用光学元件，在传播媒介中间使光束发生变化，利用光束来反射物体，使光束发射经过长距离后瞬间返回。光电开关由发射器、接收器和检测电路3部分组成。发射器对准目标发射光束，发射的光束一般来源于发光二极管和激光二极管。光束不间断地发射或者改变脉冲宽度。受脉冲调制的光束辐射强度在发射中经过多次选择，朝着目标不间断地运行。接收器由光电二极管或光电晶体管组成。在接收器的前面，装有光学元件（如透镜和光圈等），在其后面的是检测电路，它能滤出有效信号和应用该信号。

2．光电开关的工作原理

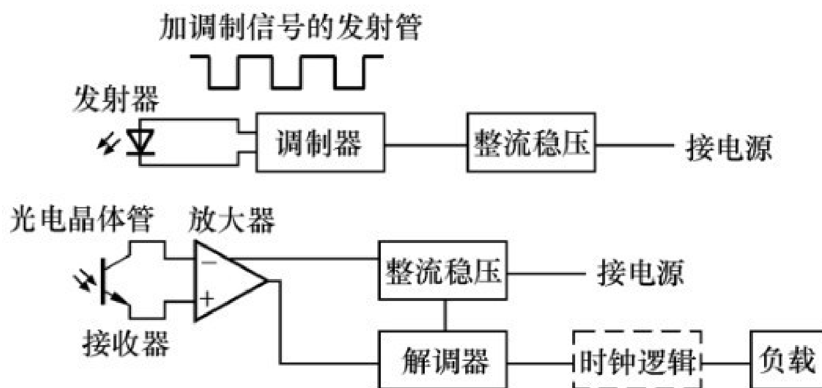


图3-47 光电开关的工作原理图

光电开关（光电传感器）是光电接近开关的简称，它是利用被检测物对光束的遮挡或反射，由同步回路选通电路，从而检测物体有无的。被检测物体不限于金属，所有能反射光线的物体均可被检测。光电开关将输入电流在发射器上转换为光信号射出，接收器再根据接收到的光线的强弱或有无对目标物体进行检测。光电开关的工作原理如图3-47所示。多数光电开关选用的是波长接近可见光的红外线，人眼可见的光波是 380～780nm，发射波长为780nm～1mm的长射线称为红外线，我国生产的红外线光电开关优先使用的是接近可见光波长的近红外线。红外线光电开关可分为以下几种。

（1）漫反射式光电开关

漫反射式光电开关是一种集发射器和接收器于一体的传感器，当有被检测物体经过时，将光电开关发射器发射的足够量的光线反射到接收器，于是光电开关就产生了开关信号。当被检测物体的表面光亮或其反光率极高时，漫反射式光电开关是首选的检测模式。漫反射式光电开关作用距离的典型值为3m。漫反射式光电开关具有如下特征。

① 有效作用距离由目标的反射能力决定，即由目标表面性质和颜色决定。

② 当光电开关由单个元件组成时，通常可以达到粗定位。

③ 可采用背景抑制功能调节测量距离。

④ 漫反射式光电开关对目标上的灰尘和目标变化了的反射性能敏感。

（2）镜反射式光电开关

镜反射式光电开关也是集发射器与接收器于一体，发射器发出的光线经过反射镜反射回接收器。镜反射式光电开关由发射器和接收器构成的情况是一种标准配置，从发射器发出的光束在对面的反射镜上被反射，即返回接收器，当光束被中断时会产生一个开关信号。光的通过时间是信号持续时间的2倍，有效作用距离为0.1～20m。镜反射式光电开关具有以下特征。

① 可辨别不透明的物体。

② 借助反射镜形成较宽的有效距离范围。

③ 不易受干扰，可以可靠地应用于野外或者有灰尘的环境中。

（3）对射式光电开关

对射式光电开关包含在结构上相互分离且光轴相对放置的发射器和接收器，发射器发出的光线直接进入接收器。当被检测物体经过发射器和接收器之间且阻断光线时，光电开关就产生了开关信号。当检测物体是不透明的时，对射式光电开关是最可靠的检测模式，典型的方式是位于同一轴线上的光电开关可以相互分开达50m。对射式光电开关具有如下特征。

① 可辨别不透明的反光物体。

② 有效距离大，因为光束跨越感应距离的时间仅为一次。

③ 不易受干扰，可以可靠地应用于野外或者有灰尘的环境中。

④ 装置的消耗高，两个单元都必须敷设电缆。

（4）槽式光电开关

槽式光电开关通常是标准的U字形结构，其发射器和接收器分别位于U形槽的两边并形成一光轴。当被检测物体经过U形槽且阻断光轴时，光电开关就产生了开关信号。槽式光电开关能比较安全可靠地检测高速变化的物体，分辨透明与半透明物体。

（5）光纤式光电开关

光纤式光电开关采用塑料或玻璃光纤传感器来引导光线，以实现被检测物体不在相近区域的检测。通常光纤传感器分为对射式和漫反射式两种。

3．技术术语

图3-48为光电开关检测示意图。在光电开关的应用设计中，需掌握的技术术语如下。

① 动作距离。光电开关的动作距离是指被检测体按一定方式移动时，基准位置（光电开关的感应表面）与开关动作时检测面之间的空间距离。额定动作距离是指接近开关动作距离的标称值。

② 回差距离。光电开关的回差距离是指动作距离与复位距离之差的绝对值。

③ 响应频率。光电开关的响应频率是指在规定的1s时间间隔内，允许光电开关动作循环的次数。

④ 输出状态。光电开关的输出状态分常开和常闭两种。当无检测物体时，常开型光电开关所接的负载由于光电开关内部输出晶体管的截止而不工作；当检测到物体时，晶体管导通，负载得电工作。

⑤ 检测方式。光电开关的检测方式根据发射器所发出的光线被折回到接收器的途径不同，可分为漫反射式、镜反射式和对射式等。

⑥ 输出方式。光电开关的输出方式有NPN二线、NPN三线、NPN四线、PNP二线、PNP三线、PNP四线、交流二线、交流五线（自带继电器），以及直流NPN、PNP、常开、常闭和多功能等几种。

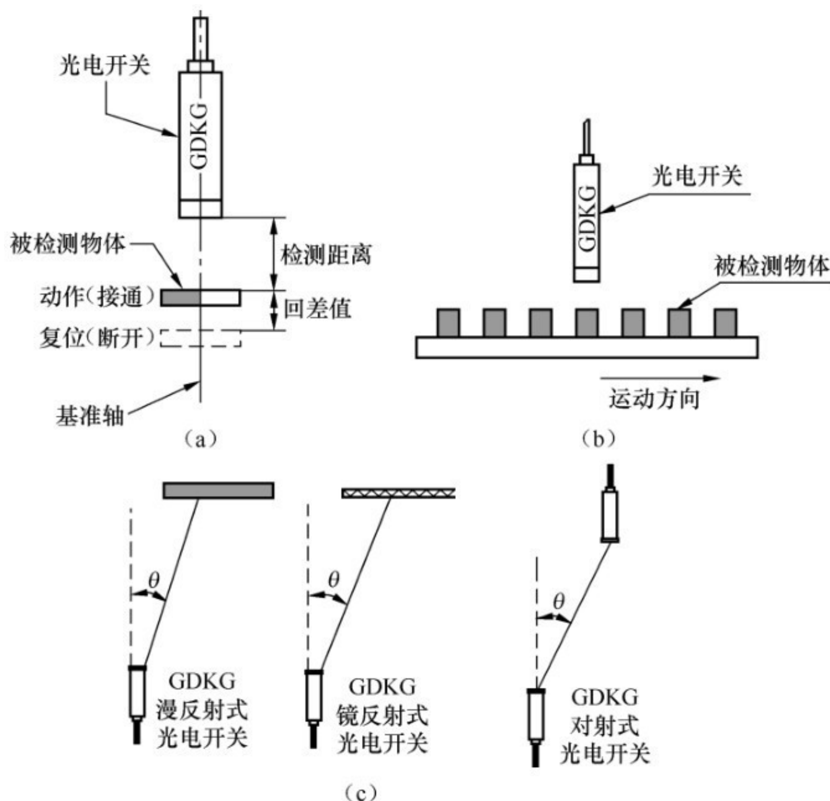


图3-48 光电开关检测示意图

⑦ 指向角。常见GDKG光电传感器的指向角如图3-48（c）所示。

⑧ 防护等级（外壳封装）。光电开关的防护等级见表3-7。

表3-7 光电开关的防护等级

型号前两位	IP	光 电 开 关
第三位 接触物和异物的侵入	0	无防护
	1	防止直径为 50mm 或更大的异物侵入
	2	防止直径为 12.5mm 或更大的异物侵入
	3	防止直径为 2.5mm 或更大的异物侵入
	4	防止直径为 1.0mm 或更大的异物侵入
	5	防止尘埃侵入
	6	无尘埃侵入
第四位 水的侵入	0	无防护
	1	防止水滴侵入
	2	将外壳倾斜 15°，防止水滴侵入
	3	防止雾水侵入
	4	防止溅水侵入
	5	防止水柱侵入
	6	防止喷水

续表

型号前两位	IP	光 电 开 关
第四位 水的侵入	7	能有效防止长期侵入水中
	8	能有效防止永久侵入水中
	9	能有效防止高压水和蒸汽侵入

⑨ 表面反射率。对于漫反射式光电开关发出的光线，需要被检测物体表面将足够的光线反射回漫反射式光电开关的接收器，所以检测距离和被检测物体表面的反射率将决定了接收器接收到的线的强弱，粗糙的表面反射回的光线强度必将小于光滑表面反射回的光线强度，而且被检测物体的表面必须垂直于光电开关的发射光线。常用材料的反射率见表3-8。

表3-8 常用材料的反射率

材　　料	反　射　率	材　　料	反　射　率
白画纸	90%	不透明黑色塑料	14%
报纸	55%	黑色橡胶	4%
餐巾纸	47%	黑色布料	3%
包装箱硬纸板	68%	未抛光白色金属表面	130%
洁净松木	70%	浅色金属表面	150%
干净粗木板	20%	不锈钢	200%
透明塑料杯	40%	木塞	35%
半透明塑料瓶	62%	啤酒泡沫	70%
不透明白色塑料	87%	人的手掌心	75%

⑩ 环境特性。环境是影响光电开关长期工作可靠性的重要因素，当光电开关工作于最大检测距离状态时，光学透镜会被环境中的污物粘住，甚至会被一些强酸性物质腐蚀，以致降低使用参数特性。这些变量尽管应列入产品设计考虑范围之内，但它们终究是造成可靠性降低的最大因素，较简便的解决方法是根据光电开关的最大检测距离（S_n ）降额使用，以确定最佳工作距离。

4．光电开关的主要用途及分类

光电开关的主要用途及分类见表3-9。

表3-9 光电开关的主要用途及分类

分　　类	用　　途
通过检测、有无检测、计数	板料的检测，玻璃制品的检测，自动检票机的通过检测，纸、布的通过检测，硬币、纸币的检测，电容器等电子元件的计数，入、退场者的计数，装箱产品的计数
尺寸、位置的控制	板、纸等定长切断，传输架定位，轿车洗车机的定位，板料的边线检测，电梯门区控制，换速控制
安全、警报	机床安全保护，吊车碰撞预防，工厂、家庭防盗，车辆高度控制，电梯、公共汽车乘客上下安全检测

续表

分　　类	用　　途
缺陷、缺空检测	板、线材的弯曲程度检测，线断头检测，供料中断检测，瓶盖检测，铁头断刃检测，片剂缺空检测
料位检测	连通管液面检测，料门、料位检测，板料的堆垒高度控制
识别、分类	传送带上箱子的标志分检，正、反判别，胶带等透明物体的接缝检测
标志检测	包装机的标志检测、传送带上物体标志的检测、药品等标签的色标检测

5．光电开关的通用技术参数

光电开关的通用技术参数见表3-10。

表3-10 光电开关的通用技术参数

参　　数		直 流 型	交 流 型
额定工作电压		DC10～30V	AC150～250V
静态消耗电流		50mA	80mA
回差		检测距离的 20%	
输出电流		200mA 触点：2A/AC250V	300mA 触点：2A/AC250V
动作指示		LED	LED
防护等级		IP65	
绝缘电阻		大于 20MΩ（DC500V）	
耐电压		AC1000V、50Hz、1min	
耐冲击		500m/s	
耐震动		10～50Hz、1.5mm 双振幅	
环境乱光	白炽灯	3000lx 以下	
	太阳光	10000lx 以下	
环境周围温度		−10～55℃	
湿度		35%RH～85%RH	

6．防止光电开关相互干扰的方法

把两个光电传感器靠近安装时，一个传感器的光入射时会造成另一个光电开关不稳定动作，叫做相互干扰。防止相互干扰的方法如下。

① 投光器、受光器相互交叉安装。

② 反射式光电开关并列使用时，相互间须保持设定距离为检测距离的1.4倍以上。

③ 对射式光电开关并列用使用时，相互间须保持设定距离为检测距离的40%以上。

动力线与光电传感器的配线若在同一配管或用同一线槽进行敷设，则会受到感应，有时会造成误动作，所以要分别配线和使用单管配线。在下列场所使用光电开关将会造成误动作。

① 电源电压不在光电传感器使用电源电压范围内。

② 灰尘较多的场所。

③ 腐蚀性气体较多的场所。

④ 水、油、药剂直接溅散的场所。

⑤ 室外应用时有太阳等有强光直射的场所，使用时的环境温度不在额定的范围内。

⑥ 安装不稳固、有振动和冲击或在安装中产生松动或偏斜。

7．使用注意事项

使用光电开关时应注意的事项如下。

① 红外线传感器属于漫反射型产品，所采用的标准检测体为平面的白色画纸。

② 红外线光电开关在环境照度高的情况下都能稳定工作，但原则上应避免使传感器的光轴正对太阳光等强光源。

③ 对射式光电开关的最小可检测宽度为该种光电开关透镜宽度的80%。

④ 当使用感性负载（如灯、电机等）时，其瞬态冲击电流较大，可能劣化或损坏交流二线光电开关。在这种情况下，应将负载经过中间继电器转换使用。

⑤ 红外线光电开关的透镜可用擦镜纸擦拭，禁用稀释溶剂等化学药品清洗，以免永久性损坏光电开关的塑料镜。

⑥ 针对现场实际要求，在一些较为恶劣的条件下，如灰尘较多的场合，所选用的光电开关在灵敏度上要增加了50%，以适应在长期使用中延长光电开关维护周期的要求。

第4章 变频调速系统的安装与布线技术

- 变频器的安装
- 变频调速系统的布线设计和抗干扰设计

4.1 变频器的安装

4.1.1 变频器的工作环境

1．变频器工作的物理环境

由于变频器集成度高，整体结构紧凑，自身散热量较大，因此对安装环境的温度、湿度和粉尘含量要求高。在安装变频器时，必须为变频器提供一个良好的运行环境。变频器的环境温度要求不高于40℃，如果环境温度高于40℃时，必须降低额定电流值，否则将使器件的温升过高，从而导致器件损坏（尤其是IGBT功率模块）的可能性加大，对正常安全运行有较大影响。实际工作环境若达不到变频器对工作环境的要求，将造成变频器有较高的故障率，影响长期、可靠、安全地运行，以致造成不必要的经济损失，为此在变频器应用中应注意以下事项。

① 工作温度。变频器内部是大功率的电子元器件，极易受到工作温度的影响，产品一般要求温度为 0～55℃，但为了保证工作安全、可靠，使用时应考虑留有余地，最好控制在40℃以下。若安装在变频

器柜中，变频器一般应安装在箱体上部，并严格遵守产品说明书中的安装要求，绝对不允许把发热元件或易发热的元件紧靠变频器的底部安装。

② 环境温度。温度太高且变化较大时，变频器内部易出现结露现象，其绝缘性能就会大大降低，甚至可能引发短路事故。必要时，必须在变频器柜中增加干燥剂和加热器。变频器周围空气的相对湿度应为90%以下。周围空气湿度过高，存在电气绝缘降低和金属部分腐蚀问题。如果受安装场所的限制，变频器不得已安装在湿度高的场所，变频器的柜体应尽量采用密封结构。为防止变频器停止运行时结露，应增设对流加热器。

③ 腐蚀性气体。如果使用环境中腐蚀性气体的浓度大，不仅会腐蚀元器件的引线、印制电路板等，而且还会加速塑料器件的老化，降低绝缘性能。在这种情况下，应把变频器柜制成封闭式结构，并进行换气。变频器周围不应有腐蚀性、爆炸性或燃烧性气体以及粉尘和油雾。变频器安装场所如有爆炸性和燃烧性气体，由于变频器内有易产生火花的继电器和接触器，所以有时会引起火灾或爆炸事故。如果变频器周围存在粉尘和油雾，这些气体在变频器内附着、堆积将导致绝缘降低。对于强迫风冷的变频器，过滤器堵塞将引起变频器内温度异常升高，致使变频器不能稳定运行。

④ 震动和冲击。变频器柜受到机械震动和冲击时，会引起电气接触不良。这时除了提高变频器柜的机械强度、远离震动源和冲击源外，还应使用抗震橡皮垫固定变频器柜和电磁开关之类易产生震动的元器件。变频器的耐震性因类型的不同而不同，震动超过变频器的容许值时，将产生部件紧固部分松动以及继电器和接触器等可动部分误动作等现象，往往导致变频器不能稳定运行。对于机床、船舶等能事先预见的震动场合，应充分考虑变频器的震动问题。

⑤ 变频器应用的海拔标高多规定在 1000m以下，标高高时则气压下将，容易导致绝缘破坏。另外，标高高时冷却效果也下降，必须注意变频器的温升。

2．变频器工作的电气环境

变频器工作的电气环境包括频率变化、电压变化、电压不平衡、电源阻抗、电源谐波及一些异常条件等，如额定输入电压的变化限值为±10%，电源电压不平衡度应不超过基波额定输入电压（U_{LN1}）的3%。

① 防止电磁波干扰。变频器在工作中由于整流和逆变，在其周围产生了很多的干扰电磁波，这些高频电磁波对附近的仪表、电子设备有一定的干扰。因此，变频器柜内的仪表和电子设备应该选用金属外壳，以屏蔽变频器对仪表和其他电子设备的干扰。所有的元器件均应可靠接地，除此之外，各电气元件、电子设备及仪表之间的连线应选用屏蔽电缆，且屏蔽层应可靠接地。

② 防止变频器输入端过电压。变频器电源输入端往往有过电压保护，但是，如果输入端高电压作用时间长，会使变频器输入端损坏。因此，在实际应用中，要核实变频器的输入电压、相数和变频器应使用的额定电压，为变频器提供独立的供电回路，并尽量避免与冲击性质负载共用一台变压器供电。

3．变频器的通风散热

变频器的效率一般为97%～98%，这就是说有2%～3%的电能转变为热能，远远大于一般开关、交流接触器等电器产生的热量。一般的配电箱是针对常用开关、交流接触器等电器而设计的，当这一类箱体用于变频器时，需对内部器件进行布局，以确保通风散热的合理性。

变频器的故障率随温度升高而呈指数规律上升，使用寿命随温度升高而呈指数规律下降。环境温度升高10℃，变频器的平均使用寿命将减半。在变频器工作时，流过变频器的电流是很大的，变频器产生的热量也是非常大的，不能忽视其发热所产生的影响。要了解一台变频器的发热量大概是多少，可以用下式估算。

发热量的近似值＝变频器容量(kW)×55[W]　　（4-1）

在这里，如果变频器容量是以恒转矩负载为准的（过电流能力为150%×60s），变频器带有直流电抗器或交流电抗器，并且也在柜内安装，这时发热量会更大一些。电抗器安装在变频器侧面或侧上方比

较好，这时可以用下式估算变频器产生的热量。

发热量的近似值＝变频器容量(kW)×60[W]　　　　（4-2）

如果柜内有制动电阻，因为制动电阻的散热量很大，制动电阻的安装位置应与变频器隔离开，如装在柜内变频器的上面或旁边等。

图4-1是一些电控柜内安装变频器时的风路示意图。其中，图4-1（a）为壁挂式电控柜顶部装抽风机抽出热风；图4-1（b）为控制台式电控柜上部装抽风机抽出热风；图4-1（c）为大型立式电控柜顶部装大抽风机抽出热风，地沟和柜体下部要有良好进风口；图4-1（d）为大型立式电控柜装有控制单元和制动电阻的情况，顶部装大抽风机，地沟和柜体下部要有良好进风口。变频器在电控柜内布置时，电控柜风路的设计原则如下。

① 电控柜要有强迫通风回路，通风回路的空气流向应通畅，符合流体平滑转向原则；安装在电控柜上的风机应比变频器本身风机的总通风量大30%以上。

② 电控柜的风路一般要有低风阻的进风口，在较脏的场合进风口要有过滤网，过滤网的风阻要小并防止堵塞，要求经常打扫。

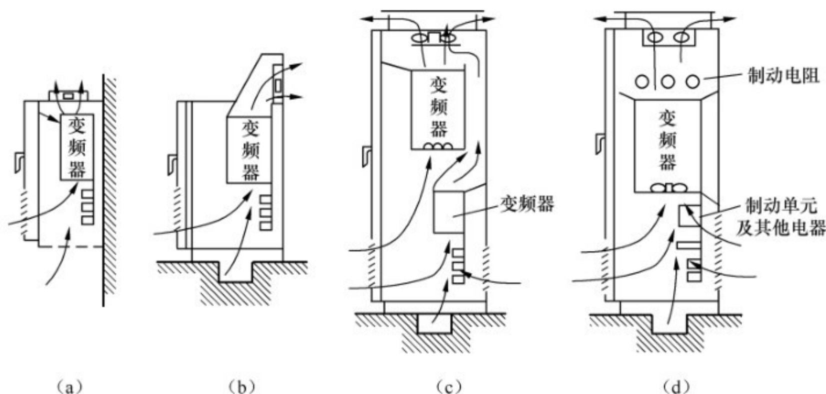


图4-1 电控柜内安装变频器时的风路示意图

③ 电控柜内空气不应直通短路，也不应该发生热风回流，要在电控柜内安装必要的导风板和挡风板。挡风板的作用是挡住直通风和避免热风回流以改善柜内空气流向，提高冷却效果。

④ 在没有专门设计强迫通风风道的柜内，单台变频器要与周围电器、箱壁保持一定距离，特别是要留出上下空间使风道顺畅，使风可自由流动。根据功率大小不同，至少留有120mm空间，左右前方空间至少为50mm。

⑤ 当变频器的环境温度超过 40℃时，对有通风盖的变频器来说要去掉通风盖，让风顺利进入变频器内。

当变频器安装在控制柜内时，要考虑变频器发热值的问题。根据机柜内产生热量值的增加，要适当地增加机柜的尺寸。因此，要使控制柜的尺寸尽量减小，就必须使柜中产生的热量尽可能地减少。如果在安装变频器时，把变频器的散热器部分放到控制柜的外面，将会使变频器有70%的发热量释放到控制柜的外面。由于大容量变频器会产生很大的发热量，所以这种方法对大容量变频器更加有效。还可以用隔离板把本体和散热器隔开，使散热器的散热不影响到变频器本体，这样效果会更好。

变频器散热设计中都是以垂直安装为基础的，横着放散热效果会变差。变频器都带有冷却风扇，但仍要在控制柜上的出风口处安装冷却风扇。进风口要加滤网以防止灰尘进入控制柜。

在海拔高于1000m的地方，因为空气密度降低，因此应加大柜子的冷却风量以改善冷却效果。理论上变频器也应考虑降容，海拔每升高1000m就降低5%。但变频器的负载能力和散热能力一般比实际使用的要大，所以也要看具体应用情况。比方说在1500m的地方，对于周期性负载，如电梯就不必要降容。变频器的发热主要来自于IGBT，IGBT的发热又集中在开和关的瞬间，因此开关频率高时变频器的发热量就自然变大了。

4．变频器的防雷

在变频器内部一般都设有雷电吸收网络，主要防止瞬间的雷电侵入使变频器损坏。但在实际工作中，特别是电源线架空引入的情况下，单靠变频器内部的吸收网络是不能满足要求的。在雷电活跃地区，这一问题尤为重要，如果电源是架空进线，则在进线处装设变频器专用避雷器（选件），或按规范要求在离变频器20m远处的电源点

装设电力避雷器。如果电源是电缆引入，应穿钢管防护，钢管应可靠接地，并应安装控制室的防雷系统，以防雷电窜入破坏设备。

5．变频器的防尘措施

在多粉尘场所，特别是多金属粉尘、絮状物的场所使用变频器时，应采取正确、合理的防护措施。总体要求是：变频器柜应该整体密封，应该通过专门设计的进风口、出风口进行通风；变频器柜顶部应该有防护网和防护顶盖保护出风口；变频器柜底部应该有底板和进风口、进线孔，并且安装防尘网。对于变频器的具体防尘设计应注意如下事项。

① 变频器柜的风道要设计合理，排风通畅，避免在柜内形成涡流，以防在固定的位置造成灰尘堆积。

② 变频器柜顶部出风口上面要安装防护顶盖，防止杂物直接落入；防护顶盖的高度要合理，不影响排风。防护顶盖的侧面出风口要安装防护网，防止絮状杂物直接落入。

③ 如果采用变频器柜顶部侧面排风方式，出风口必须安装防护网。

④ 要确保变频器柜顶部的轴流风机旋转方向正确（向外抽风），如果风机安装在变频器柜顶部的外部，必须确保防护顶盖与风机之间有足够的高度；如果风机安装在变频器柜顶部的内部，安装所需螺钉必须采用止逆弹件，防止风机脱落造成柜内元件和设备损坏。在风机和柜体之间加装塑料或者橡胶减振垫圈，可以大大减小风机振动造成的噪声。

⑤ 变频器柜的前、后门和其他接缝处，要采用密封垫片或者密封胶进行一定的密封处理，防止粉尘进入。

⑥ 变频器柜底部、侧板的所有进风口、进线孔一定要安装防尘网，阻隔絮状杂物进入。防尘网应该设计为可拆卸式，以方便清理、维护。防尘网的网格要小，能够有效阻挡细小絮状物（与一般家用防蚊蝇纱窗的网格相仿）；或者根据具体情况确定合适的网格尺寸，防尘网四周与变频器柜的结合处要处理严密。

6．变频器防潮湿霉变措施

多数变频器内部的印制板、金属结构件均未进行防潮湿霉变的特殊处理，如果长期处于潮湿和含有腐蚀性气体的工作环境中，变频器的金属构件容易产生锈蚀，对于导电铜排在高温运行情况下，更是加剧了锈蚀的过程。对于控制板和驱动电源板上的细小铜质导线，由于锈蚀将造成损坏，因此，对于应用于潮湿和含有腐蚀性气体的场合，必须对变频器的内部设计有基本要求，例如印制电路板必须采用三防漆喷涂处理，对于结构件必须采用镀镍铬等处理工艺。除此之外，还需要采取其他积极、有效、合理的防潮湿、防腐蚀性气体的措施。

变频器柜可以安装在单独的、密闭的空调机房内，此方法适用于控制设备较多的场合，安装在机房内的变频器柜可以采用如上防尘设计或者一般环境设计。

采用独立进风口的变频器柜，其单独的进风口可以设在变频器柜的底部，并通过独立密闭风管与室外干净环境连通，此方法需要在进风口处安装防尘网。密闭变频器柜内可以加装吸湿的干燥剂或者吸附毒性气体的活性材料，并定期更换。

4.1.2 变频器的基本安装要求

1．安装前的准备工作

要安装好一台变频器，使它能正常运行，达到技术及工艺要求，除了满足变频器的基本规则外，还应注意以下几点。

① 安装前首先要熟悉和掌握生产工艺及技术要求，弄清楚其负载状况，了解变频器在系统中的作用和地位，如是要求节能还是改进生产工艺，还是二者兼之。某些场合并没有节能空间，而硬要求变频器节能，这是不妥当的。

② 变频器带的负载从电气方面而言首先是电动机，因此安装前首先要对现场的电动机有比较清楚的理解，包括额定电压、额定电流、电动机极数、额定功率等，安装的变频器必须与之相匹配。有些特殊场合，如负荷较重的场所、海拔超过1000m（即超过标准海拔高度）的场所、煤矿提升机等，变频器要比负载电动机高出一个甚至两个功

率等级，一般不允许变频器比负载电动机的功率等级低，以免变频器超负荷运行而使过载保护动作。

③ 电动机的电气绝缘在安装前必须进行检测，绝缘不好的电动机不能用于变频调速系统。因为变频器虽然设有短路保护，但瞬间的接地也可能造成某些变频器损坏。

④ 安装前应仔细阅读变频器的使用说明书，结合现场工艺要求设置参数，要熟练掌握变频器的操作方法。

⑤ 对于某些场合，特别是要求自动控制而又需要附属配件的场所，如供水用的压力表、传感器、压力变送器及一些配套设施（如PID 调节仪、温控仪、定时器等），有些还需要远控装置，也要熟练掌握其应用方法，以期能快速安装、调试到位。

⑥ 要严格按照变频器的使用说明书进行配线，包括主线和控制线，在某些情况下只能高于说明书要求的规格而不能低于。在需要压接接线鼻的地方，要严格执行压接的工艺和标准。

⑦ 在工业控制比较复杂的情况下，还要考虑电磁兼容性问题，要考虑变频器的干扰与抗干扰，必要时加装电磁滤波装置。在有些场合电动机距离变频器可能较远，要考虑加装输出电抗器及滤波器。

⑧ 对于位能负载，如煤矿主井绞车、提升机、电梯类设备，由于存在再生发电状态，要考虑加装制动单元和配套的制动电阻，防止变频器过电压保护或损坏。

以上这些都是在安装变频器之前要了解和掌握的，不熟悉这些内容，就可能造成变频器的安装或调试不顺利或根本不成功，导致设备损坏或不能正常使用。

变频器初次安装或长期放置后使用时，应先对其进行全面的检查，检查项目和方法如下。

① 检查变频器有无碰伤损坏，金属部分有无锈蚀，有无结霜凝露现象。若发生结霜凝露，则应烘干4h（60℃），或在室温下通风放置24h。

② 对于小功率变频器，轻轻翻动机箱，注意机箱内有无异常声音。若有异常声音，则应打开机箱，寻找并排除其中的异物。

③ 对于功率比较大的变频器，则应打开外壳，检查一下在运输或储存过程中有无掉下的线头或颠簸松动的螺栓，若有应重新焊接或紧固。

④ 在安装前需要对变频器进行电气测试和检查，要注意不同变频器的特点，根据它们的特点来测试、检查。

2．变频器的安装方式

① 墙挂式安装。变频器必须竖直安装在与相邻设备有足够空间的地方。变频器与周围物体之间的距离应满足的条件是：两侧不小于100mm，上下不小于150mm，如图4-2中的A、B所示。

② 柜式安装。单台变频器安装时应尽量采用柜外冷却方式（环境比较洁净，尘埃少时）；单台变频器采用柜内冷却方式时，应在柜顶安装抽风式冷却风扇，并尽量装在变频器的正上方。

变频器应安装在变频器柜内的中上部，且要垂直安装，正上方和正下方要避免安装可能阻挡排风、进风的大器件。变频器上、下部边缘距离控制柜顶部、底部以及隔板或必须安装的大器件等的最小间距，应该大于300mm，如图4-3中的H₁ 、H₂所示。

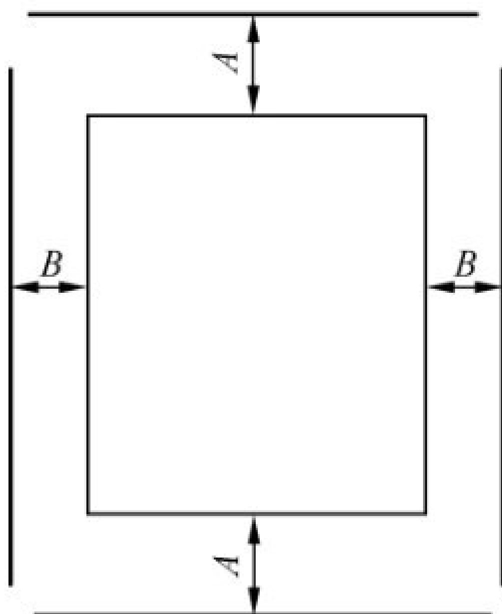


图4-2 变频器竖直安装与相邻设备空间示意图

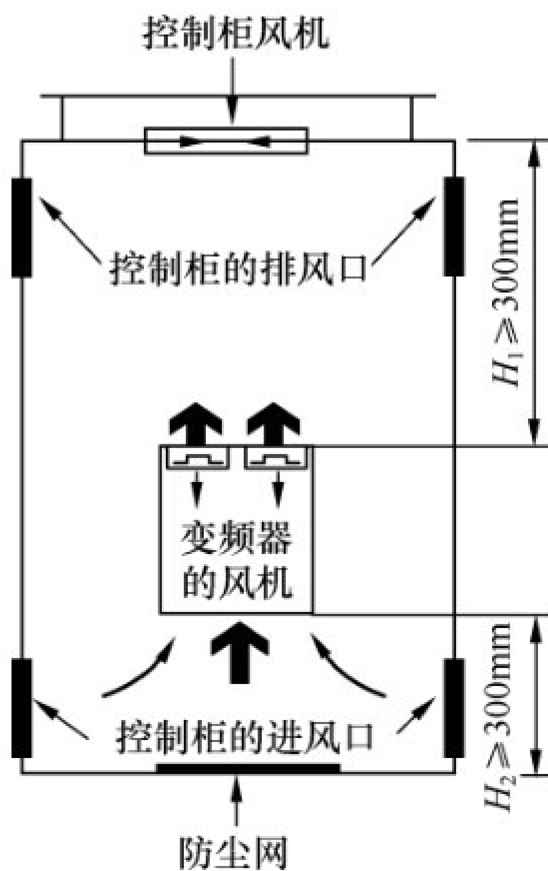


图4-3 柜内安装变频器的基本要求

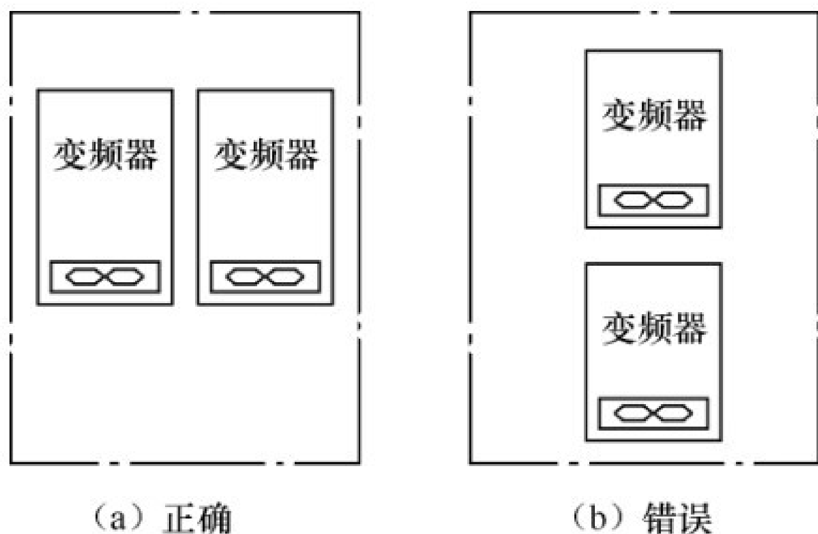


图4-4 变频器柜内布置图

当柜内安装多个变频器时，多台变频器应尽量并列安装，如图4-4（a）所示。若按图 4-4（b）所示方式布置，将影响变频器的通风散热，不利于变频器安全稳定运行。如必须采用纵向方式安装，应在两台变频器间加装隔板。

如果在使用中需要取掉变频器面板键盘，则变频器面板上的键盘孔一定要用胶带严格密封或者采用假面板替换，防止粉尘进入变频器内部。变频器的安装必须遵守变频器用户手册上的有关说明要求，同时应符合电气产品安装规范的技术要求。变频器一定要安装稳固，保证工作过程中的安全性。

对于柜式结构的变频器，为了便于操作和满足散热的要求，柜体周围要留有足够的空间：柜体前面间距不小于1.5m，柜体后面和侧面间距不小于1m。对于壁挂式的，变频器周围也应留有足够的散热空间，变频器的上部距离房间顶部至少 1m，下部距地面也至少要有1m的距离，才能使变频器通风顺畅，保证可靠运行。有的房间密封比较严，要配合用户安装排风扇或空调。有些场合环境比较脏、潮湿，要注意采取隔离措施，防尘、防潮。

3．变频器的接线

主电路的接线比较简单，将电源线接在变频器的输入端子（或标有R、S、T的端子）上，将电动机线接在变频器的输出端子（或标有U、V、W的端子）上，并将变频器的接地端子通过地线可靠接地。不要将变频器输出端子排上的“N”端子误认为电源中性线端子。线头压接要可靠，应使用容量相当的接线鼻压接且要压紧，避免大电流长期运行出现过热而烧毁接线或端子。接线完成后应检查端子接线的裸露部分是否与别的端子带电部分相碰，是否触及了变频器外壳。

变频器输入端为 R、S、T，输出端为 U、V、W，接线应正确、牢固。电源与变频器接线和同容量电动机的线径选择方法相同。R、S、T和U、V、W的主回路导线在采用铁管内保护布线时，不得将一根或两根导线敷设在一根铁管内，必须将三相的三根线布在同一根铁管内。这是由于正弦波三相电流瞬时值之和为零，不会在铁管上造成磁通和引起损耗而发热。

不能将负载功率因数校正用的电容器接到变频器的输出端，因电容器的接入会导致逆变功率器件流过大的瞬变脉冲电流而损坏。直流电抗器的参数要与变频器相配。安装前应去掉变频器上原 P1、P ＋上的短路铜件，在此处接入直流电抗器。制动单元和制动电阻的接线都要尽量短，长度不大于 5m，使用双绞线或密集平行线，导线的截面积应不小于电动机连接导线截面积的1/2～1/4。当不接制动电阻时，绝对不能将P＋端和DB端短路。

变频器输出端U、V、W的3根线如敷设在铁管和蛇皮金属管内，因导线对铁管和蛇皮金属管电容的作用，会造成变频器内部功率开关器件的瞬时脉冲过电流，使功率开关损坏，一般在布线长度超过30m（有管）或50m（无管）时，在变频器的U、V、W端子处需接入交流电抗器。如果导线绝缘层较薄，布线长度还应更短。当用一个变频器驱动多个电动机时，应按配线的总长度计算。当接入输出侧交流电抗器后，馈向电动机的总长度也不要超过400m。iF系列变频器的基本接线方法如图4-5所示。

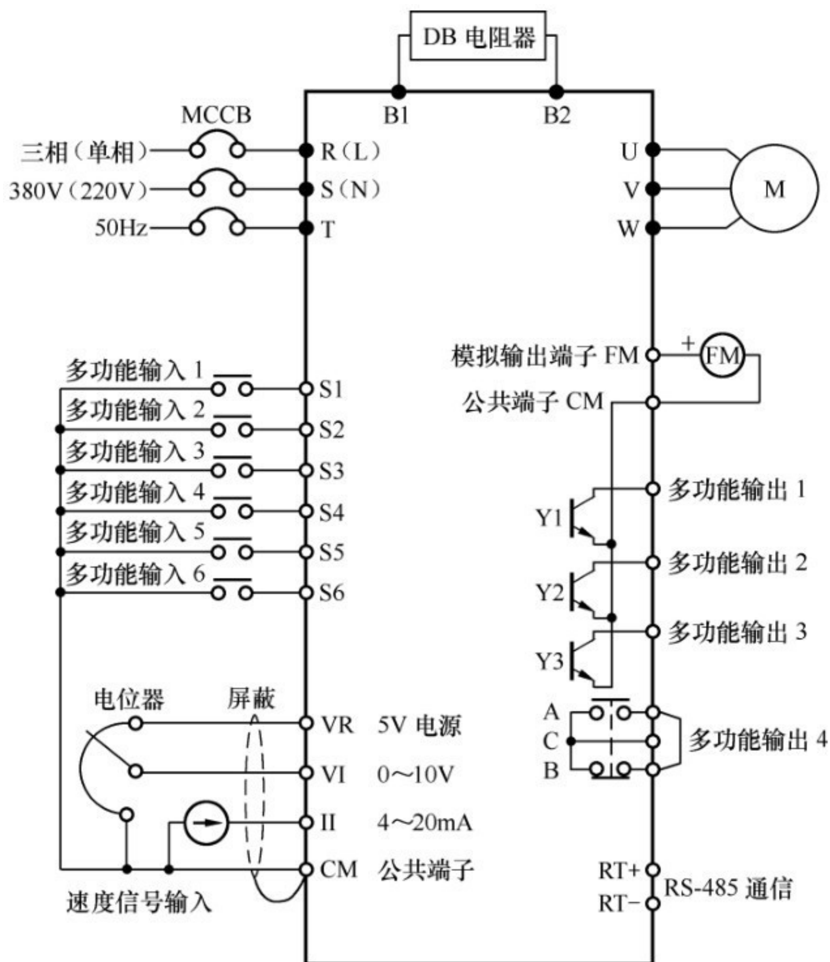


图4-5 iF系列变频器的基本接线图

（1）电源端子

单相iF系列变频器电源端子的排列方式如图4-6（a）所示。在图4-6（a）中，L、N为220V 单相变频器的电源输入端子，L 接火线，N 接零线。三相变频器电源端子的排列方式如图4-6（b）所示。在图4-6（b）中，R、S、T为三相380V电源输入端子，U、V、W为变频器输出端子，与电动机连接。严禁把变频器的输入、输出端子接反，否则将导致变频器内部损坏。当为变频器输入电源和电动机配线时，应使用带有绝缘帽的环形端子。变频器的电源端输入和输出导线的电

压降应小于2%。如果在变频器和电动机之间的配线过长，同时变频器在低频状态下运行，由于配线引起的电压降将导致电动机转矩下降。总的配线长度不应该超过500m。

L	N		B1	B2	U	V	W

（a）单相 iF 系列变频器电源端子排列方式

R	S	T	U	V	W	B1	B2

（b）三相 iF 系列变频器电源端子排列方式

图4-6 iF系列变频器电源端子排列方式

图4-6中的B1、B2为外接制动电阻端子，在B1、B2端子之间仅连接制动电阻。不要将B1、B2端子短路，如果短路，将导致变频器内部损坏。

iF系列变频器配线、端子接线和连接变频器电源输入端（R、S、T）和输出端（U、V、W）所用螺钉的参考参数见表4-1。

表4-1 iF系列变频器配线、端子接线螺钉的参数

变频器		端子螺钉尺寸	螺钉转矩（kgf•cm）	输入端子	输出端子	输入端子配线（mm^2）	输出端子配线（mm^2）
				R、S、T	U、V、W	R、S、T	U、V、W
单相	≤2.2kW	M3	15	2—4	2—4	2	2
三相	≤4kW	M4	15	5—5.5	5—5.5	2	2
	5.5kW	M4	15	5—5.5	5—5.5	3.5	2
	7.5kW	M4	15	5—14	5—8	3.5	3.5
	11kW	M5	26	5—14	5—14	5.5	5.5
	15kW	M5	26	6—22	6—22	14	8
	18.5kW	M6	45	8—38	8—38	14	8

（2）控制端子

主接线完成后，变频器可以运行。在系统设计时，为了控制及监测方便，都需要将变频器的操作及显示部分引到操作方便的位置。有时现场环境条件较差，不宜安装变频器，而应将其安装于环境条件较好的配电室内，将控制部分引到现场。对于提升机变频器等，控制部

分需要与原系统对接，也需要将控制线引出。

变频器的控制线分模拟量和数字量控制线两种。模拟量控制线主要包括输入侧的给定信号线和反馈信号线、输出侧的频率信号线和电流信号线。模拟量信号线的抗干扰能力差，必须使用屏蔽线。屏蔽层靠近变频器的一端接地，但不要接到变频器的地端（E）或大地上，屏蔽层的另一端应该悬空。开关量有启停、点动、多挡转速控制等，其控制线都是开关量控制线。

一般来说，模拟量控制线的接线原则也都适用于开关量控制线。但开关量的抗干扰能力强，故在距离不是很远时，允许使用非屏蔽线，但同一信号的两根线必须互相绞在一起。

变频器的操作键和显示部分共用一个操作盒，在远距离控制操作时其连接导线往往是电缆或排线，要求它们远离电力线和输入、输出强电导线，必要时应穿入屏蔽管套内。

所有连接线接好后要进行检查，防止漏接、错接、碰地、短路。投入电源后，发现还要改接时，首先要切除电源，并注意将直流回路电容上充的电完全放完（用直流电压表测量时小于25V），这时才可操作。

iF系列变频器控制端子的排列方式如图4-7所示，端子功能见表4-2。

S1	S2	S3	S4	S5	S6	CM	Y1	Y2	Y3
TC	TB	TA	CM	FM	VR	VI	II	RT−	RT+

图4-7 iF系列变频器控制端子排列方式

表4-2 iF系列变频器控制端子的功能

类别	端子符号	端子名称	端子功能	备注
电源端子	R（L）、S（N）、T	主电源输入	连接单相220V/三相380V电源到变频器	连接时务必小心，输入、输出切勿接反
	U、V、W	变频器输出	三相输出连接电动机	
	B1、B2	外部制动电阻	连接外部制动电阻（选件）	
RS-485通信	RT+	通信+	RS-485通信端子	选件
	RT−	通信−		
模拟频率设定	VI	模拟电压给定输入	电压输入（DC 0～10V）	
	II	模拟电流给定输入	电流输入（DC 4～20mA）	仅限于三相
	VR	频率设定电源	5V电压源输出	
	CM	频率给定用公共端子	VI、II、VR、FM用公共端子	
输入信号	S1	多功能输入1	可设置正转等21种功能	
	S2	多功能输入2		
	S3	多功能输入3		
	S4	多功能输入4		
	S5	多功能输入5		
	S6	多功能输入6		
公共端子	CM	触点输入、输出公共端子		
输出信号	Y1	多功能输出1	可设置故障等21种功能	
	Y2	多功能输出2		
	Y3	多功能输出3		
故障输出继电器	TA	多功能输出4	常开触点	
	TB		常闭触点	
	TC		公共触点	

4．富士系列变频器外部接线图

富士FVR-K7S系列变频器的外部接线如图4-8（a）所示，富士FVR-G7S系列变频器的外部接线如图 4-8（b）所示，富士 FVR-E7S系列变频器的外部接线如图 4-8（c）所示，富士FVR-E11S系列变频器的外部接线如图4-8（d）所示。

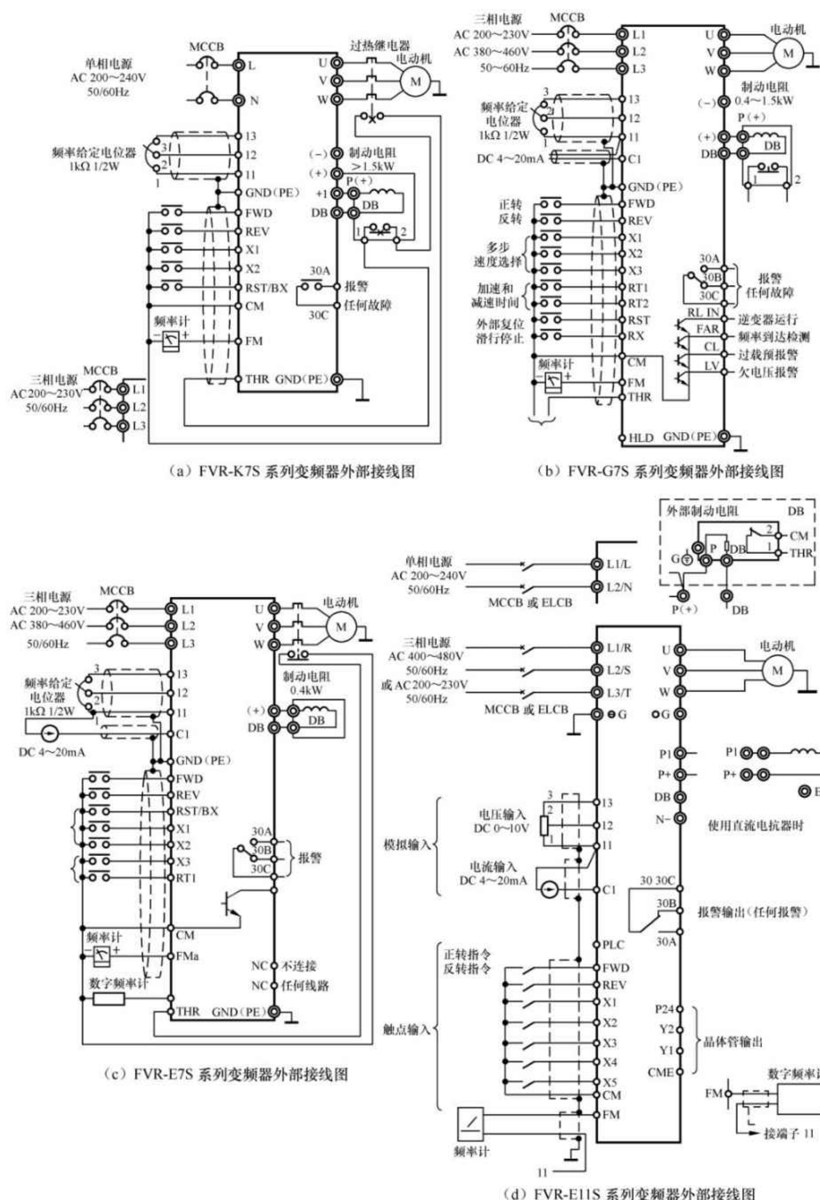


图4-8 富士系列变频器外部接线图

在应用中连接直流电抗器时，应卸去端子P1和P＋上的跳线。变频器附近若有电磁接触器，应在其线圈上并接电压抑制器，连线要尽量短。

5．SINE系列变频器接线图

SINE系列变频器采用开关启停、电位器调速的接线方法如图4-9（a）所示，合上启停开关，变频器运行指示灯亮，输出频率从0.0Hz 到达电位器设定频率。调节电位器，可改变电动机转速。

SINE　　系列变频器采用按钮启停、电位器调速的接线方法如图4-9（b）所示。按一下启动按钮，变频器运行指示灯亮，输出频率显示　0.0Hz；按下加速按钮并保持，变频器输出频率上升，电动机转速升高；松开加速按钮，变频器输出频率保持不变；按下减速按钮并保持，变频器输出频率下降，电动机转速降低；松开减速按钮，变频器输出频率保持不变；按一下停车按钮，变频器停车，运行指示灯灭。

SINE系列变频器用于多台电动机并联同步运行时的接线方法如图4-9（c）所示。合上启停开关，变频器运行指示灯亮，输出频率从0.0Hz到达电位器设定频率，调节电位器，同步改变3台电动机的转速。合上正反转开关，3台电动机同步减速后反转。

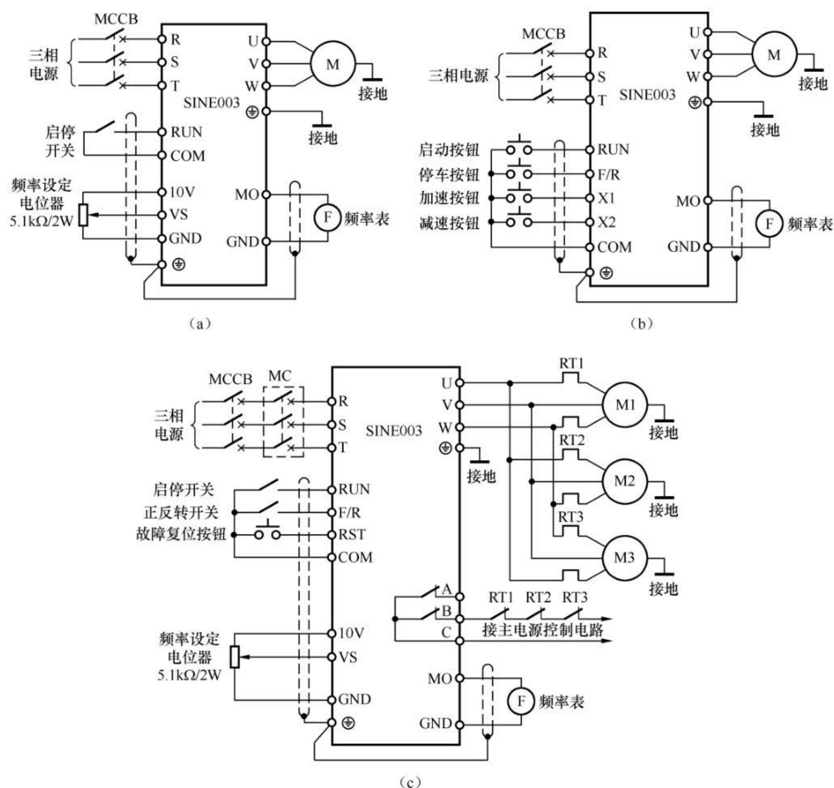


图4-9 SINE系列变频器接线图

SINE 系列多台变频器比例联动运行时的接线方法如图 4-10 所示。合上启停开关，3 台变频器运行指示灯亮，输出频率从 0.0Hz 到达电位器设定频率，输出频率的比例关系为1:1.5:2。调节主调电位器，改变3台电动机的转速，且转速按比例联动。可以分别用3个微调电位器调整3台变频器的输出频率。

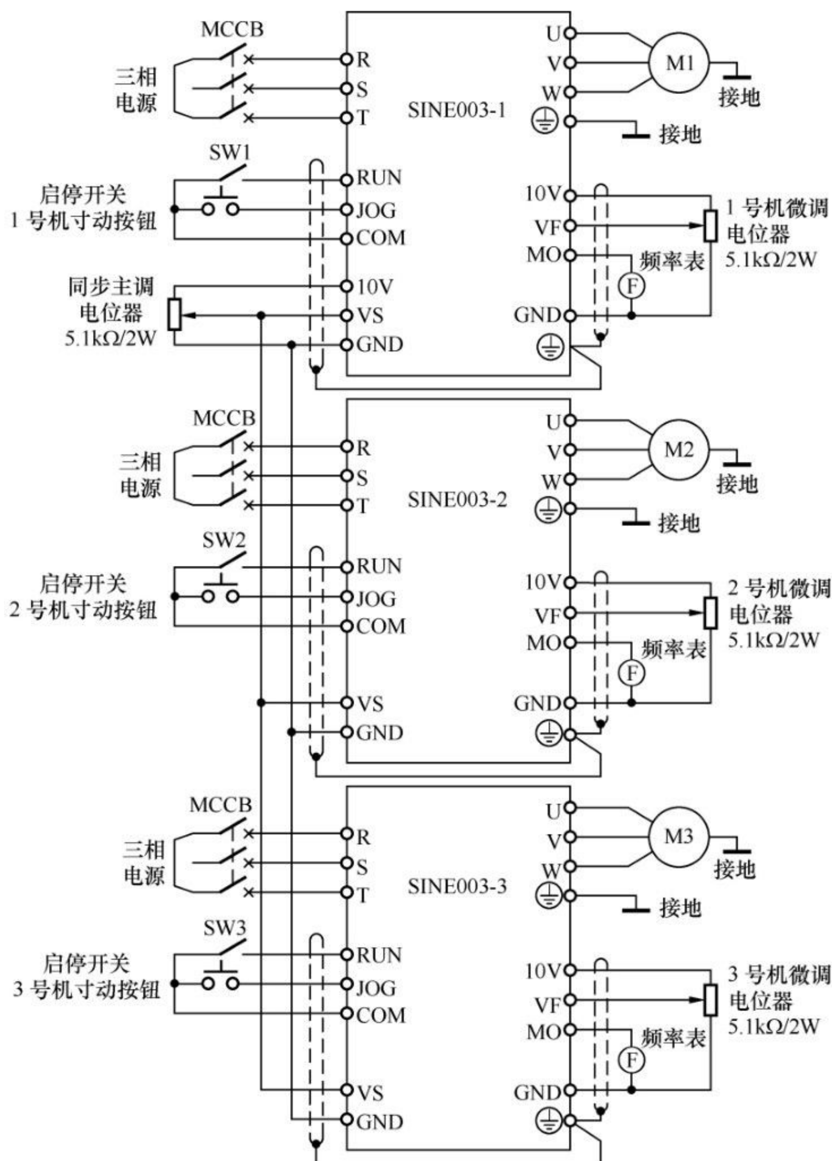


图4-10 SINE系列多台变频器比例联动运行接线图

6．LGIG5变频器接线图

LGIG5变频器的接线方法如图4-11所示，主电路端子的功能见表4-3，控制端子的功能见表4-4。

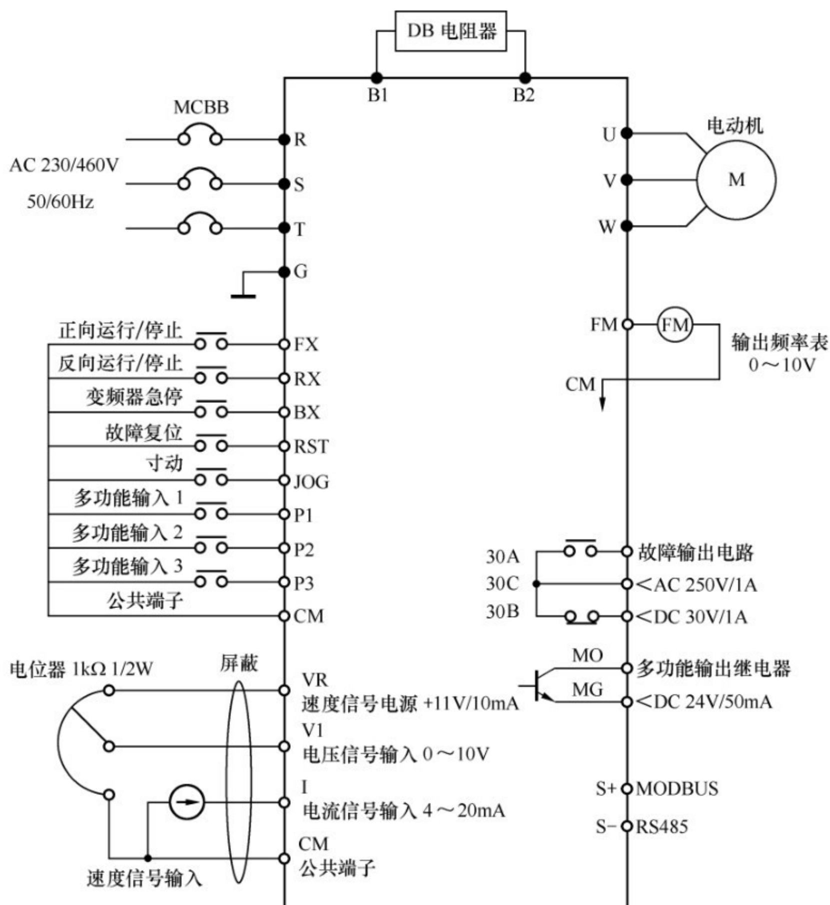


图4-11 LGIG5变频器接线图

表4-3 主电路端子的功能

符　　号	功　　能
R、S、T	三相交流输入，三相，AC 200～230V（－2 型号）AC 380～460V（－4 型号）
U、V、W	到电动机的三相输出端子
B1、B2	动态制动电阻连接端子
G	底盘接地（根据不同类型，接地端子不一定在端子排上，而可能在散热器上）

表4-4 控制端子的功能

类　　型		符　　号	名　　称	说　　明
输入信号	启动触点功能选择	P1、P2、P3	多功能输入 1、2、3	使用的多功能输入，厂家设定频率 1、2、3
		FX	正转指令	闭合时正转，打开时停止
		RX	反转指令	闭合时反转，打开时停止
		JOG	寸动频率给定	当寸动信号处于 ON 时，在寸动频率下运行，运行的方向是由 FX（或者 RX）信号决定的
		BX	紧急停止	当 BX 信号处于 ON 时，变频器的输出关断。当电动机使用电子制动方式停止时，使用 BX 去关断输出信号。当 BX 信号处于 OFF 时（没有被锁存关断的情况下），FX 信号（或者 RX 信号）处于 ON，电动机处于继续运行状态，所以要小心
		RST	故障复位	当保护电路被激活后，用此端子释放保护状态

续表

类　　型		符　　号	名　　称	说　　明
输入信号	模拟频率设定	CM	顺序公共端子	被用作触点输入端子的公共端
		VR	频率给定电源（+12V）	作为模拟频率给定的电源，最大输出为+12V、100mA
		V1	频率给定（电压）	使用 0～10V 作为频率给定输入，输出阻抗为 20kΩ
		I	频率给定（电流）	使用 DC 4～20mA 作为频率给定输入，输入阻抗为 250Ω
		CM	频率给定公共端子	模拟频率给定和 FM 的公共端子（用于监视）
输出信号	脉冲	FM-CM	模拟/数字输出（用于外部监控）	输出下列中的一个：输出频率、输出电压、输出电流、直流连接电压。厂家设定的默认值为输出频率，最大输出电压和输出电流为 0～12V 和 1mA，输出频率为 500Hz
	触点	30A，30C，30B	故障触点输出	保护功能运行时有效。AC 250V、1A 或更小，DC 30V、1A 或更小
		MO-MG	多功能输出	在定义多功能输出端子后使用，小于 DC 24V、50mA
RS-485		S+，S－	通信端口	RS-485 通信

7．ECS600系列变频器接线图

ECS600系列变频器的接线方式如图4-12所示，主回路端子的功能见表4-5。

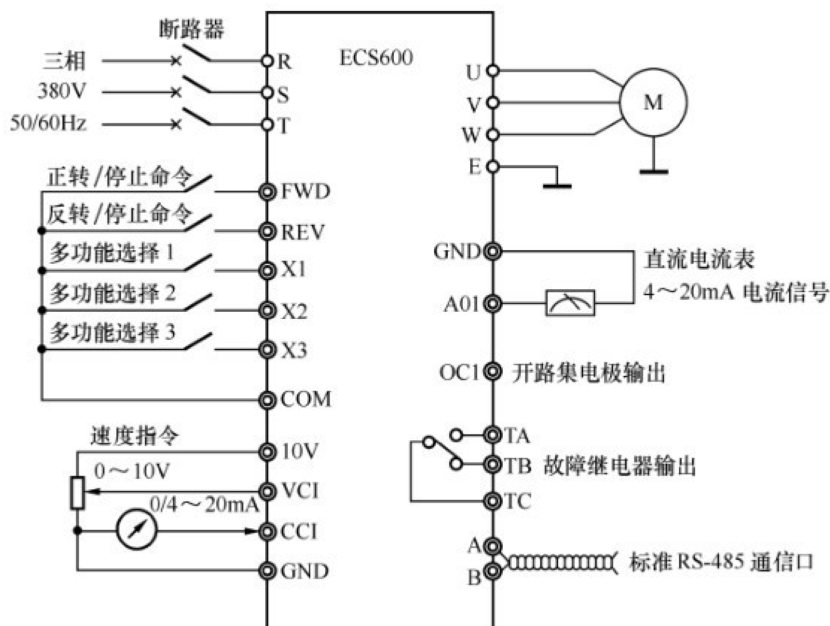


图4-12 ECS600系列变频器接线图

表4-5 主回路端子的功能

适用机型	电压等级	端子名称	功能说明
ECS600-2S0004～ECS600-2S0015 ECS600-2T0004～ECS600-2T0015 ECS600-4T0004～ECS600-4T0015	单相 220V	L1、L2 U、V、W	单相交流 220V 输入端子 三相交流输出端子
	380/220V	R、S、T U、V、W	三相交流 380V 输入端子 三相交流输出端子
	380/220V	R、S、T U、V、W	三相交流 380V 输入端子 三相交流输出端子

跳线开关的功能见表4-6。

表4-6 跳线开关的功能

序号	功能	设置	出厂值
JP2	CCI 电流/电压输入方式选择	I，4～20mA 电流信号；V，0～10V 电压信号	0～10V
JP3	模拟输出端子 AO1 输出电流/电压类型选择	4～20mA，AO1 端子输出电流信号； 0～10V，AO1 端子输出电压信号	0～10V

CN3控制回路端子的排列方式如图4-13所示，CN3控制板端子的功能见表4-7。

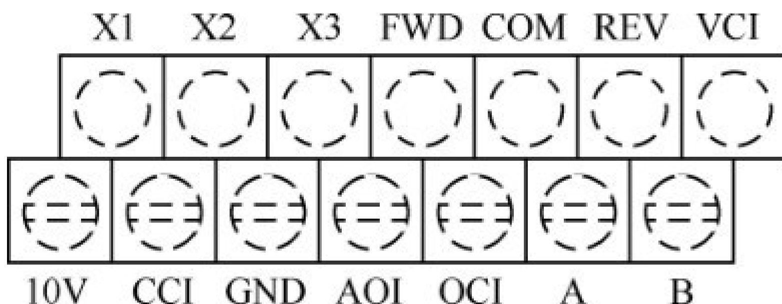


图4-13 CN3控制回路端子排列图

表4-7 CN3控制板端子的功能

类别	端子标号	名　称	端子功能说明	规　格
模拟量输入	VCI	模拟量输入 VCI	接收模拟电压量输入（参考地：GND）	输入电压范围为 0～10V（输入阻抗为 70kΩ），分辨率为 1/1000
	CCI	模拟量输入 CCI	接收模拟电压/电流量输入，电压、电流由跳线 JP2 选择，出厂默认电压（参考地：GND）	输入电压范围为 0～10V（输入阻抗为 70kΩ），输入电流范围为 0～20mA（输入阻抗为 500Ω），分辨率为 1/1000
模拟量输出	AOI	模拟量输出	提供模拟电压/电流量输出，可表示 6 种量，输出电压/电流由跳线 JP3 选择，出厂默认输出电压（参考地：GND）	电流输出范围为 4～20mA； 电压输出范围为 0～10V
电源	COM	+24V 电源负极（公共端）	数字信号输入的公共端和参考地	COM 和 GND 两者之间相互内部隔离
	GND	+10V 电源负极	模拟信号和+10V 电源的参考地	—
	10V	+10V 电源正极	对外提供+10V 电源（负极端：GND）	最大输出电流为 50mA
运行控制端子	FWD	正转运行命令	正反转开关量命令，见 F4.05 组两线三线控制功能说明	光耦隔离输入； 输入阻抗为 2kΩ； 最高输入频率为 200Hz X1～X3 / COM 闭合有效
	REV	反转运行命令		
多功能输入端子	X1	多功能输入端子 1	可编程定义为多种功能的开关量输入端子	
	X2	多功能输入端子 2		
	X3	多功能输入端子 3		
多功能输出端子	OCI	开路集电极输出端子 1	可编程定义为多种功能的开关量输出端子	光耦隔离输出； 工作电压范围为 15～30V； 最大输出电流为 50mA
通信	A	RS-485 通信接口	485 差分信号正端；出厂为 RS-485 方式	对于标准 RS-485 通信接口使用双绞线或屏蔽线
	B		485 差分信号负端	

控制板JP1端子的功能见表4-8。

表4-8 控制板JP1端子的功能

类别	端子标号	名　　称	端子功能说明	规　　格
继电器输出端子	TA	变频器故障输出继电器	变频器正常：TB-TC 闭合，TA-TC 断开 变频器故障：TB-TC 断开，TA-TC 闭合	TB-TC，常闭，TV-TC，常开，其触点容量： AC 250V/2A(cosΦ= 1) AC 250V/1A(cosΦ= 0.4) DC 30V/1A
	TB			
	TC			

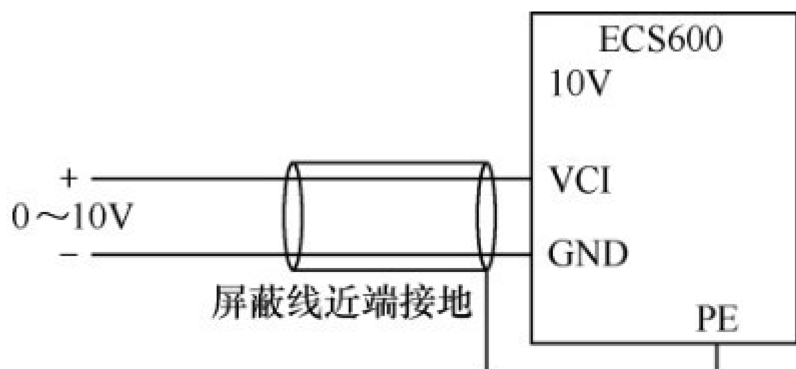


图4-14 VCI端子接收模拟电压信号输入时的接线方式

VCI 端子接收模拟电压信号输入，其接线方式如图 4-14 所示。CCI 端子接收模拟电流信号输入，通过跳线选择输入电压（0～10V）和输入电流（4～20mA），其接线方式如图4-15所示。模拟量输出端子AOI外接模拟表可指示多种物理量，通过跳线选择输出电流（4～20mA）和电压（0～10V）。模拟输出端子AOI的接线方式如图4-16所示。

采用ECS600变频器的串行通信接口可以组成单主单从、单主多从的控制系统。利用上位机（PC或PLC）软件可实现对变频器的实时监控，实现远程控制及复杂的运行控制等。RS-485端子的接线方式如图4-17（a）所示。多台变频器可通过RS-485接口连接在一起，最多可连接31台具有RS-485接口的设备。随着连接台数的增加，通信系统越容易受到干扰，应采用图4-17（b）所示的方式接线。

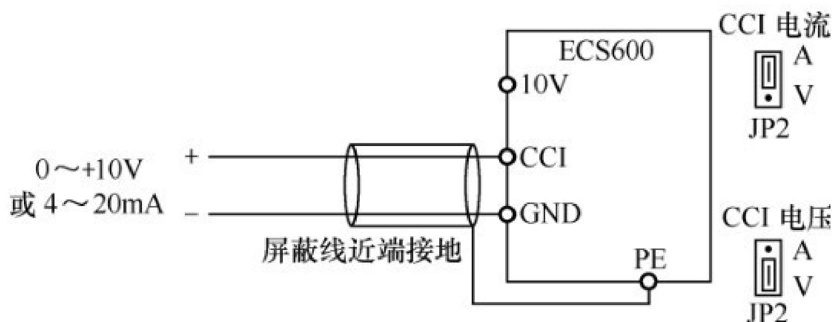


图4-15 CCI端子接收模拟信号输入时的接线方式

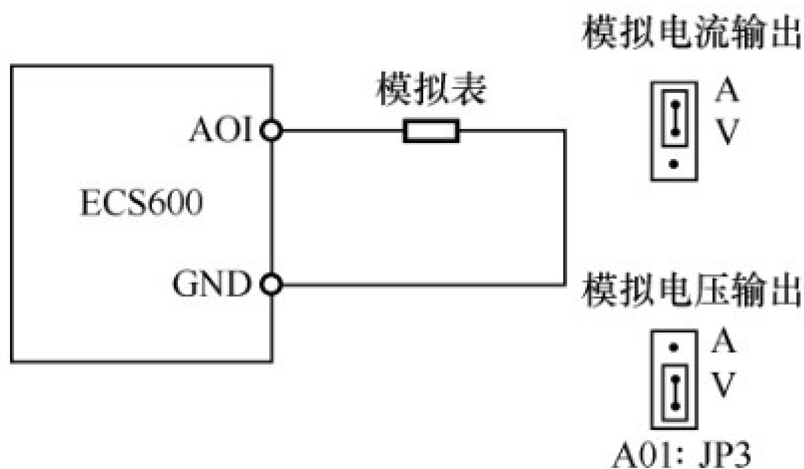
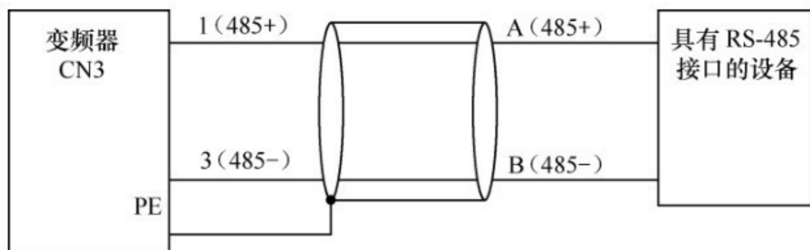
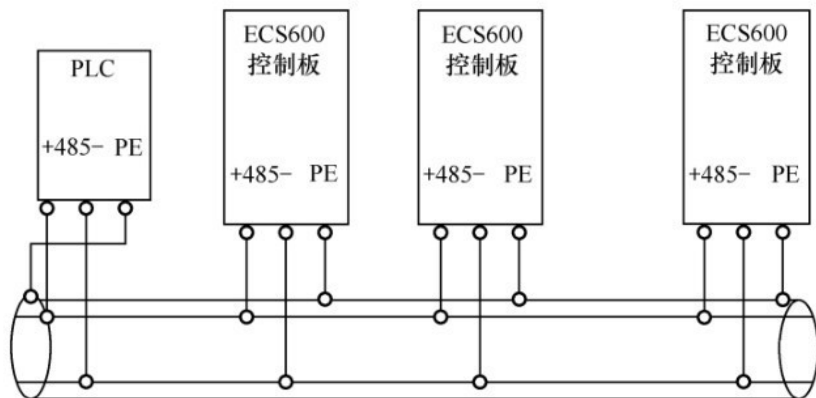


图4-16 模拟输出端子AOI的接线方式



（a）



（b）

图4-17 通信端子的接线方式

4.2 变频调速系统的布线设计和抗干扰设计

4.2.1 变频调速系统的布线设计

1．信号分类

电缆的合理布设可以有效地减小外部环境对信号的干扰以及各种电缆之间的相互干扰，提高变频调速系统运行的稳定性。变频调速系统的信号分类如下。

I类信号：热电阻信号、热电偶信号、毫伏信号、应变信号等低电平信号。

II类信号：0～5V、1～5V、4～20mA、0～10mA模拟量输入信号；4～20mA、0～10mA模拟量输出信号，电平型开关量输入信号，触点型开关量输入信号，脉冲量输入信号，小于DC24C、50mA的阻性负载开关量输出信号。

III类信号：DC24～48V感性负载或者电流大于50mA的阻性负载的开关量输出信号。

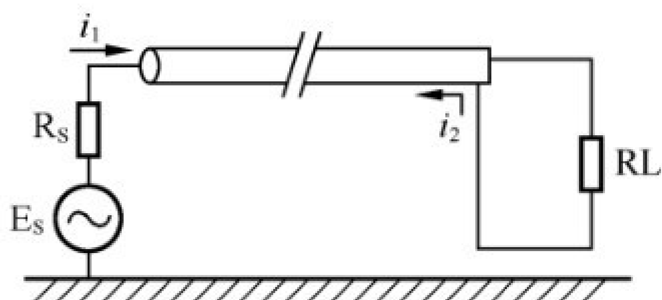
IV类信号：AC110V或220V开关量输出信号。

其中，I类信号很容易被干扰，II类信号容易被干扰，而III和IV类信号在开关动作瞬间会成为强烈的干扰源，通过空间环境干扰附近的信号线。IV类信号的馈线可视作电源线进行布线。

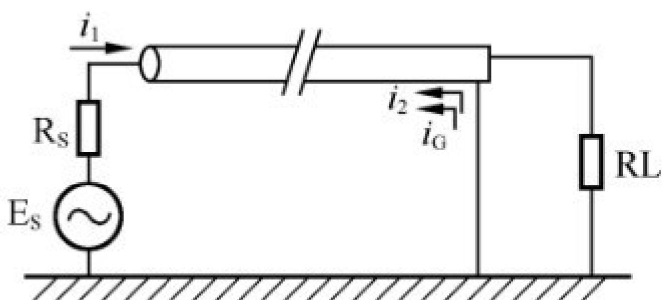
2．变频调速系统的传输线

（1）屏蔽线

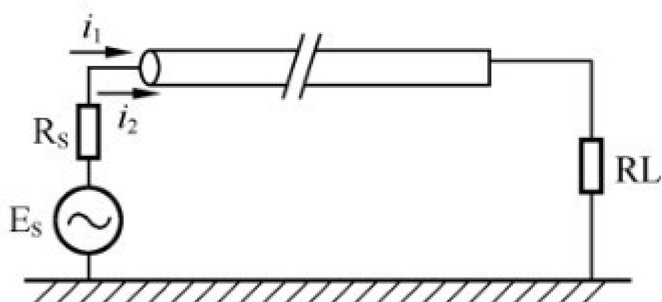
图4-18示出了屏蔽线的3种使用情况。图4-18（a）所示是单端接地方式，假设信号电流 i₁ 从芯线流入屏蔽线，流过负载电阻 RL 之后，再通过屏蔽层返回信号源。因为i₁ 与 i₂ 的大小相等、方向相反，所以它们产生的磁场干扰相互抵消。这是一个很好的抑制磁场干扰的方法，同时它也是一个很好的抵制磁场耦合干扰的方法。图4-18（b）所示是两端接地方式。由于屏蔽层上流过的电流是i₂ 与地环电流i_G 的叠加，所以它不能完全抵消信号电流所产生的磁场干扰。因此，它抑制磁场耦合干扰的能力也比图4-18（a）差。在图 4-18（c）中，屏蔽层悬浮，因此，它只有屏蔽电场耦合干扰的能力，而无抑制磁场耦合干扰的能力。



（a）单端接地



（b）两端接地



（c）屏蔽层不接地

图4-18 屏蔽线的用法

如果把图4-18（c）所示方式抑制磁场干扰的能力定为0dB，当图4-18（a）、（b）、（c）中信号源的内阻R_S 都为100□，负载电阻RL的阻值都为1M□，信号源频率为50kHz （高于该电缆屏蔽体截频的5倍）时，根据国外专家实验测定，图 4-18（a）

所示方式具有80dB的衰减能力，即抑制磁场干扰的能力很强。而图4-18（b）所示方式具有27dB的磁场干扰抑制能力。图 4-18（a）所示的单端接地方式的抗干扰能力最好，其接地点的选择可以是图4-18（a）中的情况，也可以选择负载电阻RL侧接地，而让信号源浮置。

（2）屏蔽电缆

屏蔽电缆是在绝缘导线外面再包一层金属薄膜，即屏蔽层。屏蔽层通常是铜丝或铝丝编织网，或无缝铅铂，其厚度远大于集肤深度。屏蔽层的屏蔽效能主要不是因反射和吸收所得到的，而是由屏蔽层接地所产生的。也就是说，屏蔽电缆的屏蔽层只有在接地以后才能起到屏蔽作用。例如，干扰源电路的导线对敏感电路的单芯屏蔽线产生的干扰是通过源导线与屏蔽线的屏蔽层间的耦合电容和屏蔽线的屏蔽层与芯线之间的耦合电容实现的。如果把屏蔽层接地，则干扰也被短路至地，不能再耦合到芯线上，屏蔽层起到了电场屏蔽的作用。但屏蔽电缆的磁场屏蔽则要求屏蔽层两端接地。例如，当干扰电流流过屏蔽线的芯线时，虽然屏蔽层与芯线间存在互感，但如果屏蔽层不接地或只有一端接地，屏蔽层上将无电流通过，电流经接地平面返回源端，所以屏蔽层不起作用，不会减小芯线的磁场辐射。如果屏蔽层两端接地，当频率较高时，芯线电流的回流几乎全部经屏蔽层流回源端，屏蔽层外由芯线电流和屏蔽层回流产生的磁场大小相等、方向相反，因而互相抵消，达到了屏蔽的目的。但如果频率较低，则回流的大部分将经接地平面返回，屏蔽层仍不能起到防磁作用。而且，当频率虽高但屏蔽层接地点之间存在地电压时，将在芯线和屏蔽层中产生共模电流，而在负载端引起差模干扰。在这种情况下，需要采用双重屏蔽电缆或三轴式同轴电缆。

综上所述，对于低频电路，应单端接地。例如，信号源通过屏蔽电缆与一公共端接地的放大器相连，则屏蔽电缆的屏蔽层应直接接在放大器的公共端；若信号源的公共端接地，放大器不接地，则屏蔽电缆的屏蔽层应直接接在信号源的公共端。对于高频电路，屏蔽电缆的屏蔽层应双端接地，如果电缆长于 1/20 波长，则应每隔 1/10 波长

距离接一次地。实现屏蔽层接地时，应使屏蔽电缆的屏蔽层和屏蔽电缆连接器的金属外壳呈 360°良好焊接或紧密压在一起，电缆的芯线和连接器的插针焊接在一起，同时将连接器的金属外壳与屏蔽机壳紧密相连，使屏蔽电缆成为屏蔽机箱的延伸，这样才能取得良好的屏蔽效果。

（3）双绞线<sub>

</sub> 双绞线的绞扭若均匀一致，则所形成的小回路面积相等而法线方向相反，因此，其磁场干扰可以相互抵消。当给双绞线加上屏蔽层后，其抑制干扰的能力将发生质的变化。双绞线的使用方法如图4-19所示。如果每2.54cm有6个均匀绞扭，当采用图4-18中约定的参数时，根据国外专家的实验测定，图 4-19（a）所示的单端接地方式对磁场干扰具有高达55dB的衰减能力。可见，双绞线确实有很好抗干扰的效果。而在图4-19（b）中由于两端接地，地线阻抗与信号线阻抗不对称，地环电流造成了双绞线电流不平衡，因此降低了双绞线抗磁场干扰的能力，所以图4-19（b）所示方式只有13dB的磁场干扰衰减能力。图4-19（c）使用屏蔽双绞线，由于其屏蔽层一端接地，另一端悬空，因此屏蔽层上没有返回信号电流，所以它的屏蔽层只有抗电场干扰能力，而无抑制磁场耦合干扰能力。所以，图 4-19（c）与图4-19（a）所示方式一样具有高达55dB的衰减能力。在图4-19（d）中屏蔽层单端接地，而另一端又与负载冷端相连，它的屏蔽层上的电流被双绞线中的一根分流，具有 77dB 的衰减能力。在图4-19（e）中屏蔽层双端接地，具有一定的抑制磁场耦合干扰能力，加上双绞线本身的作用，因此具有63dB的衰减能力。在图4-19（f）中的屏蔽层和双绞线都两端接地，具有28dB的衰减能力。

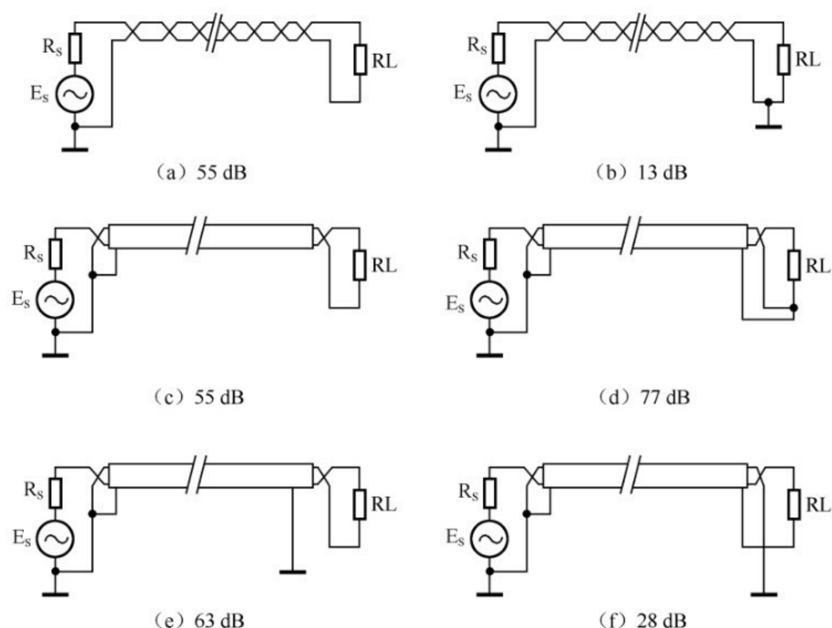


图4-19 双绞线的用法及其抗磁场耦合干扰的能力

双绞线最好的应用是作为平衡式传输线，因为两条线的阻抗一样，自身产生的磁场干扰或外部磁场干扰都可以较好地抵消。同时，平衡式传输又具有很强的抗共模干扰能力，因此成为大多数变频调速系统的网络通信传输线。例如，物理层采用RS-422A或RS-485通信接口就是很好的平衡传输模式。

3．电缆选择与布线原则

（1）控制电缆

① 对于I类信号电缆，必须采用屏蔽电缆。I类信号中的毫伏信号、应变信号应采用屏蔽双绞电缆，还应保证屏蔽层只有一点接地，且要接地良好。这样可以大大减小电磁干扰和静电干扰。

② 对于II类信号电缆，也应采用屏蔽电缆，II类信号中用于控制、连锁的模入模出信号、开入信号必须采用屏蔽电缆，最好采用屏蔽双绞电缆。禁止采用一根多芯电缆中的部分芯线传输I类或II类信号，另外部分芯线用于传输III类或IV类信号。

③ IV类信号电缆严禁与I、II类信号电缆捆在一起走线，应作为

220V电源线处理。IV类信号电缆与电源电缆一起走线，应采用屏蔽双绞电缆。绝对禁止大功率的开关量输出信号线、电源线、动力线等电缆与直接进入变频调速系统的I、II类信号电缆并行捆绑。

④　对于III类信号电缆，允许与220V电源线一起走线（即与IV类信号相同），也可以与I、II类信号电缆一起走线。但III类信号也必须采用屏蔽电缆，最好为屏蔽双绞电缆，且与I、II类信号电缆相距15cm以上。严禁同一信号的几根芯线分布在不同的几条电缆中（如三线制的热电阻）。

在现场电缆敷设中，必须有效地分离III、IV类信号电缆、电源线等易产生干扰的电缆，使其与现场布设的I、II类信号的电缆保持一定的安全距离（如15cm以上）。

信号电缆和电源电缆应采用不同的走线槽走线，在进入变频调速系统的机柜时，也应尽可能相互远离。当这两种电缆无法满足分开走线要求时，它们必须都采用屏蔽电缆（或屏蔽双绞电缆），且应满足以下要求。

①　如果信号电缆和电源电缆的间距小于15cm时，必须在信号电缆和电源电缆之间设置屏蔽用的金属隔板，并将隔板接地。

② 当信号电缆和电源电缆按垂直方向或水平方向分离安装时，信号电缆和电源电缆的间距应大于15cm。对于某些干扰特别大的应用场合，如电源电缆上接有电压为AC　220V、电流在10A以上的感性负载，而且电源电缆不带屏蔽层时，要求它与信号电缆在垂直方向上的间隔距离必须在60cm以上。

③ 在两组电缆垂直相交时，若电源电缆不带屏蔽层，应用厚度在1.6mm以上的铁板覆盖交叉部分。

为了减小模拟量受变频器和其他设备的干扰，应将控制变频器的信号线与强电回路（主回路及顺控回路）分开走线，相互间距离应在30cm　以上。即使在控制柜内，同样要保持这样的接线规范。该信号电缆最长不得超过50m，保护信号线的金属管或金属软管一直要延伸到变频器的控制端子处，以保证信号线与动力线彻底分开。模拟量控制信号线应使用双绞屏蔽线，其规格为0.5～2mm²　。在

接线时电缆剥线要尽可能短（5～7mm），同时对剥线以后的屏蔽层要用绝缘胶布包起来，以防止屏蔽线与其他设备接触而引入干扰。

（2）动力电缆

为有效抑制电磁波的辐射和传导，变频器的电动机电缆必须采用屏蔽电缆，屏蔽层的电导必须至少为每相导线芯电导的1/10。根据变频器的功率选择导线截面积合适的三芯或四芯屏蔽动力电缆，尤其是从变频器到电动机之间的动力电缆一定要选用带屏蔽结构的电缆，且要尽可能短，这样可降低电磁辐射和容性漏电流。当电缆长度超过变频器所允许的电缆长度时，电缆的杂散电容将影响变频器的正常工作，为此要配置输出电抗器。变频器的可选件与变频器之间连接电缆的长度不得超过10m。

电动机电缆应独立于其他电缆走线，其最小距离为500mm，同时应避免电动机电缆与其他电缆长距离平行走线，这样才能减小变频器输出电压快速变化而产生的电磁干扰。如果控制电缆和电源电缆交叉，应尽可能使它们按90°角交叉。

4.2.2 变频调速系统布线的抗干扰设计

1．传动系统抗干扰设计规则

规则 1：接地原则，也称抗干扰接地。所有柜体金属部分必须通过最大可能表面积进行连接。柜门必须通过尽可能短的接地线同柜体相连。安装接地是电气设备的一项根本保护措施，但是在传动系统中，它将影响噪声发射和抗扰度。一般系统采用星形方法接地，或每个单元电路单独接地，在应用中应优先采用单独接地系统。

规则 2：信号电缆和动力电缆必须分开敷设（为了消除耦合噪声），最小间隔为 20cm。在动力电缆和信号电缆之间设计隔板，隔板在长度方向上必须有几个接地点。

规则 3：柜中接触器、继电器、电磁操作机构的电磁线圈必须使用抑制元件，如 RC 元件、二极管、压敏电阻。这些抑制元件必须直接接在线圈上。

规则　4：在同一电路中（出口和入口导体）的非屏蔽电缆必须绞接，或出口和入口导体间的表面积尽可能小，以防止不必要的耦合作用。

规则5：消除不必要的电缆长度，以减小耦合电容和耦合电感。

规则6：将备用电缆两端接地，以获得附加的屏蔽效果。

规则7：在一般情况下，线路电缆要靠近接地的柜体，用安装板可减小耦合噪声。因此，导线敷设应尽量靠近柜子外壳和安装板，而不能随意通过柜子。

规则　8：计算机装置必须通过屏蔽电缆进行连接。屏蔽层必须在微电子器件和变频器一端接地。屏蔽层不能中断。

规则9：数字信号电缆的屏蔽层应两端接地（发送器和接收器）。为了减小屏蔽电流，在屏蔽连接之间缺乏等电位连接时，屏蔽层应并联在一个截面积为 10mm² 的附加等电位连接导体上，屏蔽层接地点可有数处，甚至在柜子外壳上。

规则10：模拟信号电缆的屏蔽层在具有良好的等电位连接的情况下，应两端接地。遵守规则1，可获得很好的等电位接地效果。

规则11：信号电缆应从柜的一侧进入柜中。

规则12：变频器的电源应与系统的控制电源分开，若共用一个电源，会引起电源耦合效应。

规则13：防止通过电源耦合可能产生的噪声。与规则12一样，当变频器和其他自动化装置装于一个柜体中时，如仅有一个公共电源，应采用隔离变压器。

规则14：噪声抑制滤波器通常应靠近干扰源，滤波器的外壳要通过一个大截面积铜导线连接到柜体安装板上，这样使电气接触是通过安装板形成的，以确保良好的电接触。

规则15：为了限制噪声发射，所有引向电动机的电缆要采用屏蔽电缆。要采用铜屏蔽，不要用钢管屏蔽。

规则16：进线电抗器应装在辐射干扰抑制滤波器和变频装置之间。

规则17：进线电缆同电动机电缆在空间上应隔离。

规则18：电动机与变频器的屏蔽层不应由于安装输出电抗器、滤波器、熔断器、接触器等器件而中断。器件都应装于一个公共底板上，它的作用相当于电动机进出电缆屏蔽层的连接。

规则19：为了限制辐射干扰，不仅电源进线，所有从外部连接到柜中的电缆都需屏蔽。

变频调速系统的传输导线之间形成相互耦合是通道干扰的主要原因之一，主要表现为公共阻抗耦合、电容性耦合、电感性耦合、电磁场耦合和辐射。

2．布线中电场耦合的抑制<sub>

</sub> 造成电场耦合干扰的原因是两根导线之间的分布电容会产生耦合。当两导线形成电场耦合干扰时，导线1在导线2上产生的对地干扰电压U_N 为

$$U_{\mathrm{N}}=\frac{\mathrm{j}\omega C_{12}U_{1}}{1/R+\mathrm{j}\omega C_{2\mathrm{G}}} \tag{4-3}$$

式中：U₁ 和ω分别是干扰源导线1的电压和角频率；R和C_{2G} 分别是被干扰导线 2 的对地负载电阻和总电容；C₁₂ 是导线 1 和导线 2 之间的分布电容，通常C₁₂ <<C_{2G} 。

可以看出，在干扰源的角频率ω不变时，要想降低导线2上的被干扰电压U_N ，应当减小导线1的电压U₁ ，减小两导线之间的分布电容C₁₂ ，减小导线2的对地负载电阻R以及增大导线2对地的总电容C_{2G} 。在这些措施中，可操作性最好的是减小两导线之间的分布电容C₁₂ 。也就是采用远离技术：弱信号线要远离强信号线敷设，尤其是远离动力线路。工程上的“远离”概念通常取干扰导线直径的40倍。同时，避免平行走线也可以减小C₁₂ 。

3．布线中磁场耦合的抑制

抑制磁场耦合干扰的方法是屏蔽干扰源，大电动机、电抗器、磁

力开关和大电流载流导线等都是很强的磁场干扰源，采用导磁材料将其屏蔽起来，在工程上是很难做到的，通常采用一些被动的抑制技术。当回路1对回路2造成磁场耦合干扰时，其在回路2上形成的串联干扰电压U_N 为

$$U_N = j\omega B\ A\ \cos\theta \qquad (4\text{-}4)$$

式中：ω是干扰信号的角频率；B 是干扰源回路1形成的磁场链接至回路2处的磁通密度；A 为回路2感受磁场感应的闭合面积；θ是B和A 两个矢量的夹角。

可以看出，在干扰源的角频率ω不变时，要想降低干扰电压U_N ，首先应当减小B 。对于直线电流磁场来说，B 与回路 1 中流过的电流成正比，而与两导线的距离成反比。因此，要有效抑制磁场耦合干扰，仍然采用远离技术。同时，也要避免平行走线。

4．公共阻抗耦合的抑制

消除公共阻抗耦合的途径有两个，一个是减小公共地线部分的阻抗，这样公共地线上的电压也随之减小，从而控制公共阻抗耦合。减小地线阻抗的核心问题是减小地线的电感，这包括使用扁平导体作为地线，用多条相距较远的并联导体作为接地线。另一个方法是通过适当的接地方式避免容易相互干扰的电路共用地线，一般要避免强电电路和弱电电路共用地线以及数字电路和模拟电路共用地线。

位置相互靠近的变频器柜的单点接地系统如图4-20所示，它比较适合于低频信号，而很少用于高频系统。除了与进入的电源电缆一起引入的设备接地导体外，还增设有附加的局部安全接地。当提供该附加接地时，附加接地的连接应通过与地之间的附加低阻抗通道以加强人身安全。

当单个变频器柜与控制站分开很远时，信号参考导体的阻抗将引起控制站与变频器柜体之间的地电位差，这是分布式系统存在的问题。控制站与变频器柜之间的通信电路应具有合适的共模干扰保护，共模干扰可能由长绝缘信号地的阻抗引起。当设计分布式系统的接地方式时，应满足如下要求。

① 应尽量使分布式系统采用单一电源。

② 每一个变频器柜有自己的局部设备地而取代总体安全地。

③ 系统之间的信号应采用变压器耦合或直流耦合，控制站和变频器柜之间的传输电路应具有一定的抑制故障情况下地电压升高的能力。

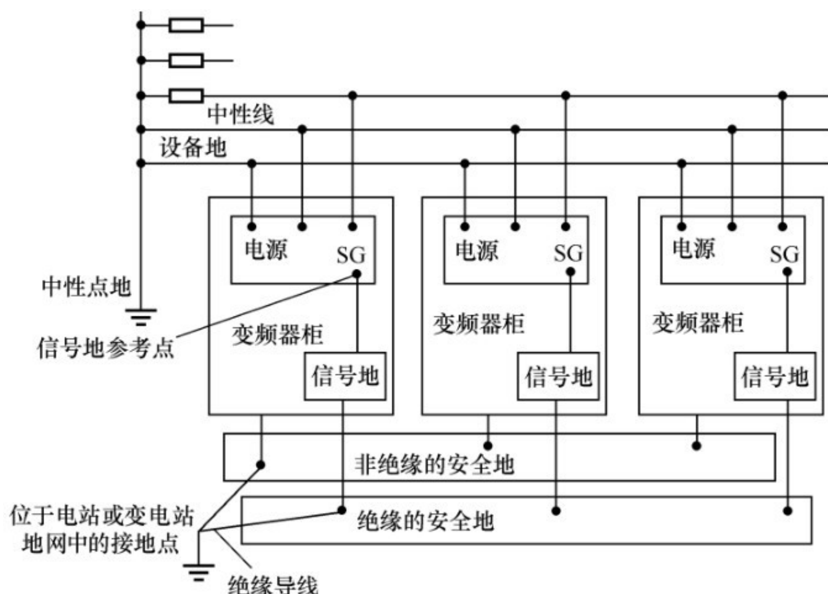


图4-20 相互靠近的变频器柜低频信号的单点接地系统

④ 变频调速系统中的信号地与局部地相浮，通过大尺寸的绝缘线与控制站的信号地相连，如图4-21所示。

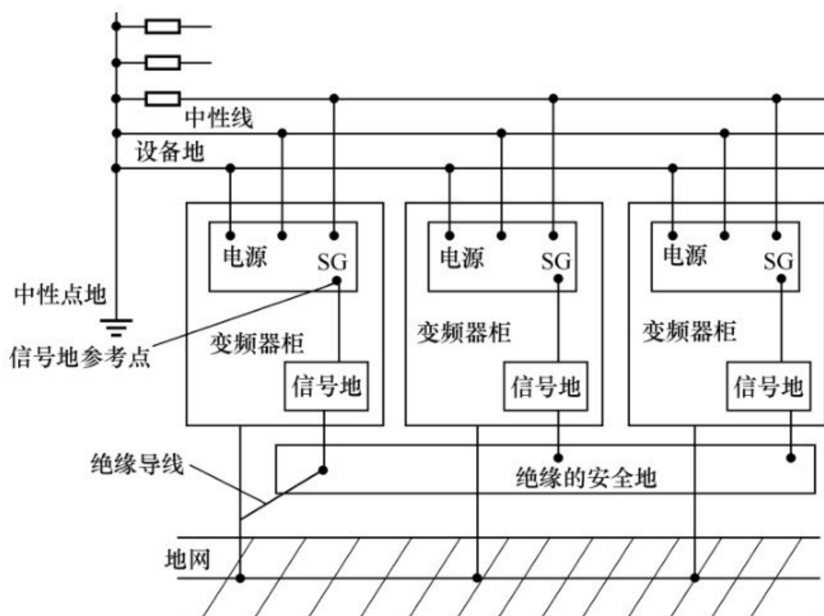


图4-21 变频器柜远离时低频信号的单点接地系统

当工作频率高于300kHz或采用长接地电缆的接地设备时，应考虑多点接地系统。每个设备在最近的点连接至地网，而不是所有接地导体单点接地。这个系统的优点是电路建造比较容易，可以避免高频时接地系统的驻波效应。多点接地系统的主要缺点是可以构成多个地回路而引起共模干扰。变频器柜相距很远时高频信号的多点接地系统如图4-22所示。

5．布线原则

为了减小动力电缆的辐射干扰，可采用铜带铠装屏蔽电力电缆，以降低动力线产生的电磁干扰。不同类型的信号分别由不同的电缆传输，在敷设信号电缆时应按传输信号的种类分层敷设，严禁用同一电缆的不同导线同时传送不同类别的信号，并应避免信号线与动力电缆靠近平行敷设，以减小电磁干扰。

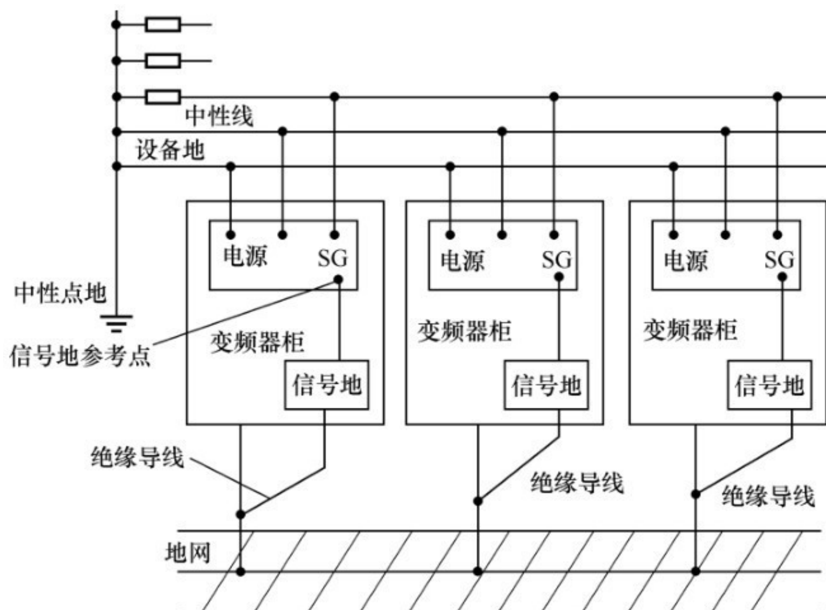


图4-22 变频器柜远离时高频信号的多点接地系统

信号传输线之间的相互干扰主要来自导线间分布电容、电感引起的电磁耦合，防止干扰的有效方法首先是注意电缆的选择，应选用金属铠装屏蔽型的控制电缆、信号电缆。这样一方面减小了噪声干扰，另一方面也增强了电缆的机械强度。其次，电缆的敷设施工也是一项重要的工作，施工时应注意将动力电缆和控制电缆分开。同时还要注意尽量使变频器电源线、I/O电源线、输入信号线、输出信号线、交流线、直流线分别使用各自的电缆且尽量分开布线，开关量信号线和模拟量信号线也应尽量分开布线。模拟量信号线应采用屏蔽电缆，并将屏蔽层接地。数字传输线也要采用屏蔽电缆，并将屏蔽层接地。当交流和直流的输入和输出信号线不得不使用同一配线管时，直流输入、输出信号线要使用屏蔽电缆，并将屏蔽层接地。

6．导线选择

控制电缆应使用屏蔽电缆。一般来说，控制电缆的屏蔽层应直接在变频器的内部接地，另一侧通过一个高频小电容（例如3.3nF/3000V）接地。当屏蔽层两端的差模电压不高和连接到同一地

线上时，也可以将屏蔽层的两端直接接地。信号线和它的返回线绞合在一起，能减小感性耦合引起的干扰。绞合越靠近端子越好。模拟信号的传输线应使用双屏蔽的双绞线。不同的模拟信号线应该独立走线，有各自的屏蔽层，以减小线间的耦合。不要把不同的模拟信号置于同一个公共返回线中。低压数字信号线最好使用双屏蔽的双绞线，也可以使用单屏蔽的双绞线。选择导线时应根据传输信号电平或功率电平、频率范围、敏感情况、隔离要求进行，只有正确分析信号电平与波形，才能正确选用传输电缆。选用传输电缆的一般原则如下。

① 低频信号线以及隔离要求很严格的多点接地和单点接地线路用屏蔽双绞线。

② 单点接地的音频线路和内部电源线用双绞线。

③ 对于发射射频脉冲、高频信号、宽频带内阻抗匹配信号等，应选择同轴电缆。

④ 数字电路和脉冲电路用绞合屏蔽电缆，有时需要单独屏蔽。

⑤ 高电平电源线应穿钢管敷设。

⑥ 多点接地的音频线或电源线需采用屏蔽线。

⑦ 低频仪表可采用单芯、单屏蔽导线，其传输中等信号电平并有良好的接地系统时，效果比较好。

7．布线的抗干扰设计

在大地电位变化较大的场所，系统将受到共模干扰，且容易转变为差模干扰，因此系统的接地系统设计就尤为重要。系统的接地方式一般采用独立接地方式，接地时应注意以下事项。

① 接地线应尽量短且截面积应大于2mm² 。

② 接地点应尽量靠近变频器机柜（距离不大于50m）。

③ 接地线应尽量避开强电回路和主回路的导线，无法避开时应垂直相交。

④ 接地电阻应小于1Ω。

外部配线之间存在着互感和分布电容，进行信号传送时会产生串扰。为了防止或减小外部配线的干扰，屏蔽电缆的处理方法如图4-23所示。对于300m以上的长距离配线，则可用中间继电器转换信号，

或使用远程I/O通道。

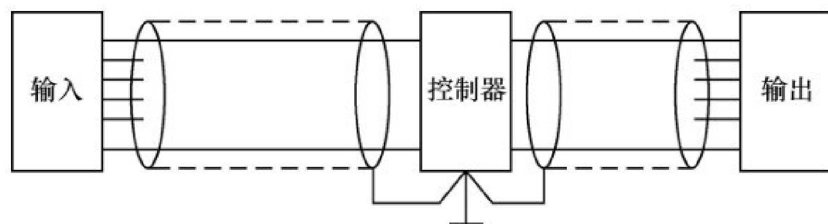


图4-23 屏蔽电缆的处理方法

（1）电源线布线

电动机电缆应独立于其他电缆走线，两者间最小距离为500mm。同时应避免电动机电缆与其他电缆长距离平行走线，这样才能减小变频器输出电压快速变化而产生的电磁干扰。如果控制电缆和电源电缆交叉，应尽可能使它们按90°角交叉。

① 变频器的电源线和I/O线应分别配线，电源线应采用屏蔽电力电缆。将变频器的电源线与I/O线分开走线，不同类型的线应分别装入不同的电缆管和电缆槽中，并使其有尽可能大的空间距离。

② 交流线与直流线应分别使用不同的电缆，分开捆扎交流线、直流线并分槽走线最好。这不仅能使其有尽可能大的空间距离，而且能将干扰降到最低限度。

（2）输入、输出线布线

变频器的输入接线一般指外部传感器与输入端口的接线。变频器一般接收的开关量信号对电缆无严格要求，故可选用一般电缆。若信号传输距离较远，可选用屏蔽电缆；模拟信号和高速信号线应选用屏蔽电缆。传输模拟输入、输出信号的屏蔽线，其屏蔽层应一端接地。为了泄放高频干扰，数字信号线的屏蔽层应并联电位均恒线，或只考虑抑止低频干扰时，也可以一端接地。不同的信号线最好不用同一插接件转接，如必须用同一个插接件，要用备用端子或地线端子将它们分割开，以减小相互干扰。

当模拟量输入、输出信号距变频器较远时，应采用4～20mA或0～10mA的电流传输方式，而不是电压传送方式。传送模拟信号的屏

蔽线的屏蔽层应一端接地。输入、输出信号线应穿入专用电缆管或独立的线槽中敷设，专用电缆管或独立线槽的敷设路径应尽量靠近地线或接地的金属导体。若在输入触点电路中串联二极管，在串联二极管上的电压应小于4V。若使用带发光二极管的舌簧开关，串联二极管的数目不能超过两只。另外，对于输入、输出接线还应特别注意以下几点。

① 输入接线一般不要超过 30m。但如果环境干扰较小，电压降不大，输入接线可适当长些。

② 输入、输出线不能用同一根电缆，变频器的输入与输出最好分开走线，开关量与模拟量信号线也要分开敷设。

③ 变频器的输入、输出回路配线必须使用压接端子或单股线，不宜用多股绞合线直接与变频器的接线端连接，否则容易出现火花。

（3）通信线布线

变频器的基本单元与控制站之间传送的信号小，频率高，很容易受干扰，不能与其他的传输线敷设在同一线槽内，应单独敷设，以防止外界信号的干扰。通信电缆要求可靠性高，有的通信电缆的信号频率很高（如1MHz以上），一般应选用变频器生产厂家提供的专用电缆（如光纤电缆），在要求不高或信号频率较低时，也可以选用带屏蔽的多芯电缆或双绞线电缆。

为了提高抗干扰能力，对变频器的外部信号、变频器和计算机之间的串行通信信号，可以考虑用光纤来传输和隔离，或采用带光电耦合器的通信接口。

（4）变频器柜内的布线

变频调速系统机柜通常作为变频调速系统内部控制系统的参考电位点，因此，必须尽量减小流过用于安装变频调速系统的机柜背板中的噪声电流，防止出现变频调速系统的 PE 端与本系统中远端的相关变频调速系统参考电位之间的噪声电压，以保证系统的可靠性。

图 4-24 所示为一个包含 PLC 和变频器的同柜布线实例。在图4-24（a）中，变频器输出电缆被安装在靠近 PLC 背板的正上方，电缆屏蔽层接在机柜上方，变频器输入电缆采用非屏蔽且不带电缆导管

的三相三线电缆，变频器的PE母排在靠近PLC背板的下方与TE　　相连。对于这样一个布线系统，由于变频器产生的共模电流将通过电缆屏蔽层及电缆中线流回到机柜，并通过系统中的 PE 通路经 TE及供电变压器副边中点 X0 最后返回到变频器的输入侧，因此有大量的噪声电流流过用于安装PLC的背板，将严重干扰PLC的正常工作。

改进后的布线如图4-24（b）所示，变频器的输出电缆被安装在靠近PLC背板的正上方，输出电缆中线接到变频器的 PE 端。同时，变频器输入电缆也采用三相四线屏蔽电缆，并且变频器的PE母排与TE的连接点被放在靠近PLC背板的下方。改进布线后，有效地减小了流过用于安装PLC背板的噪声电流。

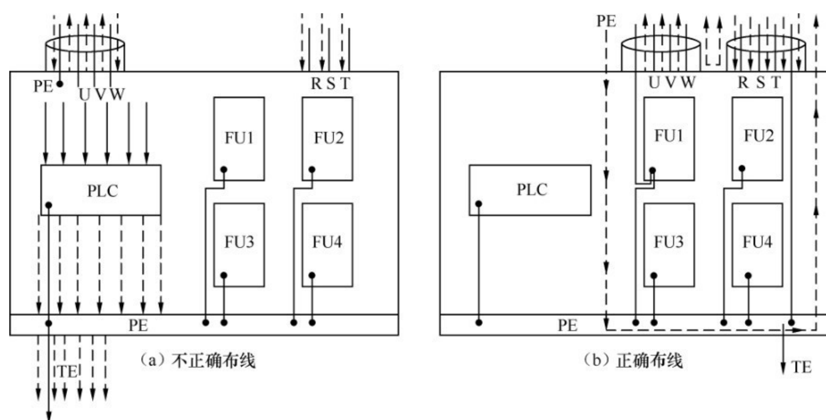


图4-24 变频器柜布线实例

4.2.3 变频器周边控制回路的抗干扰措施

由于变频器主回路的非线性（进行开关动作），变频器本身就是谐波干扰源，而其周边控制回路却是小能量、弱信号回路，极易遭受其他装置的干扰，造成变频器自身和周边设备无法正常工作，因此，在安装、使用变频器时，必须对控制回路采取抗干扰措施。

1．变频器与电动机的距离对系统的影响及防止措施

在工业应用现场，变频器与电动机的安装距离可以大致分为3种情况：远距离、中距离和近距离。20m以内为近距离，20～100m为

中距离，100m以上为远距离。在变频器与电动机间的接线距离较长的场合，来自电缆的高次谐波漏电流会对变频器和周边设备产生不利影响。因此，为减小变频器所受的干扰，需要对变频器的载波频率进行调整，见表4-9。

表4-9 变频器的载波频率与接线距离关系

变频器和电动机间的接线距离	50m 以下	50～100m	100m 以上
载波频率	15kHz 以下	10kHz 以下	5kHz 以下

在设计中总是希望把变频器安放在被控电动机的附近，但是，由于生产现场空间的限制，变频器和电动机之间往往要有一定距离。如果变频器和电动机之间为20m以内的近距离，电动机可与变频器直接连接；对于变频器和电动机之间为 20～100m的中距离连接，需要调整变频器的载波频率来减小谐波及干扰；而对变频器和电动机之间为100m以上的远距离连接，不但要适度降低载波频率，还要加装输出交流电抗器。

在高度自动化的工厂里，可以在中心控制室中监控所有的控制设备，变频调速系统的信号也要送到中控室。变频器的位置若在中心控制室内，总控台与变频器之间可以直接连接，通过0～5/10V的电压信号和一些开关量信号进行控制。但是，变频器的高频开关信号的电磁辐射对弱电控制信号会产生一些干扰。如果变频器与中心控制室的距离远一点，可以采用4～20mA的电流信号和一些开关量进行控制；如果距离更远，可以采用RS-485串行通信方式来连接；若还要加长距离，可以利用通信中继达到1km的距离，采用光纤连接器时可以达到23km。采用通信电缆连接，可以很方便地构成多级控制系统，从而实现主、从和同步控制等要求。与目前流行的现场总线系统相连接，将使数据变换速率大大提高。中心控制室与变频器机柜之间距离的延长，有利于缩短变频器到电动机之间的距离，以便用更加合理的布线改善系统性能。总之，安装变频器时，需要综合考虑中心控制室、变频器和电动机三者之间的距离，尽量减小电磁干扰的影响，以提高变频调速系统的稳定性。

2．变频器对微机控制板的干扰

在控制系统中，多采用计算机或PLC进行控制，在系统设计中一定要注意变频器对计算机或PLC的干扰问题。变频器产生的传导和辐射干扰往往导致系统工作异常，因此，需要采取如下措施。

① 接地良好。电动机等强电控制系统的接地线必须通过接地汇流排可靠接地，计算机或PLC的屏蔽地最好单独接地。对于某些干扰严重的场合，应将传感器、I/O接口屏蔽层与计算机或PLC的控制地相连。

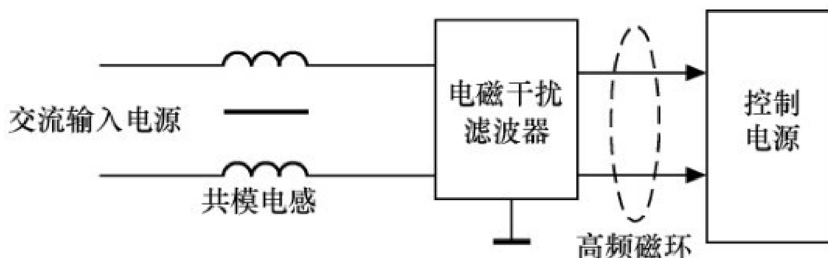


图4-25 计算机或PLC的电源抗干扰措施

② 给计算机或PLC的工作电源加装电磁干扰滤波器、共模电感、高频磁环等（见图4-25），可以有效抑制传导干扰。另外在辐射干扰严重的场合，当周围存在GSM或者移动电话机站时，应对计算机或PLC添加金属网状屏蔽罩进行屏蔽处理。

③ 对模拟传感器检测输入和模拟控制信号进行电气屏蔽和隔离。在变频器组成的控制系统设计中，尽量不要采用模拟控制，因为变频器一般都有多段速设定、开关频率量输入/输出，可以满足要求。如果非要用模拟量控制，控制电缆必须采用屏蔽电缆，并在传感器侧或者变频器侧实现远端一点接地。如果干扰仍旧严重，可以采用标准的DC/DC 模块，或者采用U/F转换、光耦隔离的方法。

3．变频器本身的抗干扰

（1）工作环境

当变频器的供电系统附近存在高频冲击负载，如电焊机、电镀电源、电解电源或者采用滑环供电的设备，变频器本身容易由于干扰而

出现保护误动作。变频器若在此种环境下工作，必须采用如下措施。

① 在变频器输入侧设置由LC元件构成的滤波网络。

② 变频器的电源线直接从变压器低压侧独立供电。

③ 在条件许可的情况下，可以采用单独的供电变压器。

④ 在采用外部开关量控制端子控制时，若连接线路较长，传输线应采用屏蔽电缆。当控制线路与主电路电源均在地沟中埋设时，除控制线必须采用屏蔽电缆外，主电路线路必须采用钢管屏蔽穿线，减小彼此干扰，防止变频器误动作。

⑤ 在采用外部通信控制端子控制时，应采用屏蔽双绞线，并将变频器侧的屏蔽层接地（PE）。如果干扰非常严重，应将屏蔽层接控制电源地（GND）。对于RS-232通信方式，传输线应不要超过15m，如果超过15m，将降低通信波特率（在100m左右时能够正常通信的波特率小于600bit/s）；对于RS-485通信方式，还必须考虑终端匹配电阻等。对于采用现场总线的高速控制系统，通信电缆必须采用专用电缆并采用多点接地的方式，才能够提高可靠性。

（2）电动机的漏电、轴电压与轴承电流问题

变频器驱动异步电动机时的电动机模型如图4-26所示。在图4-26中，C_{sf} 为定子与机壳之间的等效电容，C_{sr} 为定子与转子之间的等效电容，C_{rf} 为转子与机壳之间的等效电容，R_b 为轴承对轴的电阻；C_b 和 Z_b 分别为轴承油膜的电容和非线性阻抗。在有高频PWM脉冲输入时，电动机内分布电容的电压耦合作用构成系统共模回路，从而引起对地漏电流、轴电压与轴承电流问题。

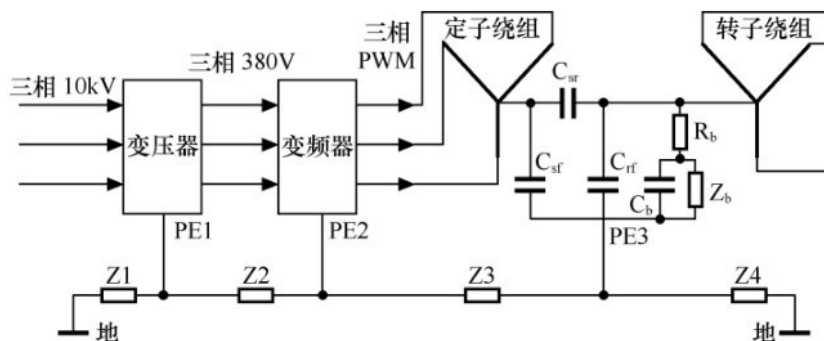


图4-26 变频器驱动异步电动机时的电动机模型

电动机漏电流主要是由于PWM三相供电电压瞬时不平衡与大地之间存在C_{sf} 产生的，其大小与PWM的du/dt与开关频率有关，其直接结果是将导致漏电保护装置动作。另外，对于旧式电动机，由于其绝缘材料性能差，又经过长期运行老化，在经过变频改造后会造成绝缘损坏，因此，必须进行绝缘测试。用于变频调速系统的电动机绝缘要求要比标准电动机高出一个等级。

轴承电流主要以3种方式存在：du/dt电流、EDM(Electric Discharge Machining)电流和环路电流。轴电压的大小不仅与电动机内各部分的耦合电容参数有关，而且与脉冲电压上升时间和幅值有关。du/dt电流主要与PWM脉冲的上升时间t_r 有关，t_r 越小，du/dt电流的幅值越大；逆变器载波频率越高，轴承电流中的du/dt电流成分越多。EDM电流的出现存在一定的偶然性，只有当轴承润滑油层被击穿或者轴承内部发生接触时，存储在转子对地电容C_{rf} 上的电荷才通过轴承等效回路R_b 、C_b 和Z_b 对地进行火花式放电，造成轴承光洁度下降，缩短使用寿命，严重时造成直接损坏。损坏程度主要取决于轴电压和存储在转子对地电容C_{rf} 上的电荷的数量。

环路电流出现在电网变压器地线、变频器地线、电动机地线及电动机负载与大地地线之间的回路中。环路电流主要造成传导干扰和地线干扰，对变频器和电动机的影响不大。避免或者减小环路电流的方

法就是尽可能减小地线回路的阻抗。由于变频器接地线（PE变频器）一般与电动机接地线（PE电动机1）连接在一个点上，因此，应尽可能加粗电动机接地电缆，减小两者之间的电阻，同时变频器与电源之间的地线采用地线铜母排或者专用接地电缆，保证良好接地。对于潜水深井泵这样的负载，接地阻抗（Z₃）可能小于变压器接地阻抗（Z₁）与变频器接地阻抗（Z₂）之和，容易形成地环流。在变频器输出端串入由LRC元件组成的正弦波滤波器是抑制轴电压与轴承电流的有效途径。

（3）变频器本身对外界辐射干扰的抑制

变频器本身对外界的辐射干扰可通过以下措施减轻。

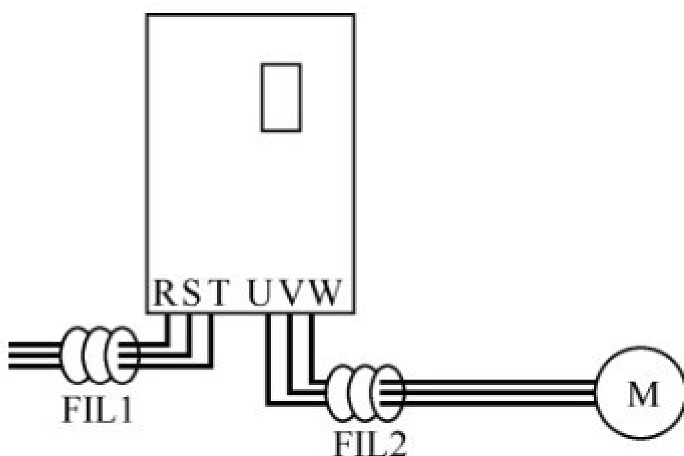


图4-27 输出和输入动力线上加装FIL1和FIL2磁环示意图

① 为降低辐射干扰，可在输出和输入动力线上加装FIL1和FIL2磁环，如图4-27所示。磁环属于共模抑制电抗器，或称零序电抗器，它对被穿过磁芯的几根导线上出现的瞬时相位和幅值不能抵消的干扰有抑制作用，而对被穿过磁芯的几根导线的瞬时相加电磁场可完全抵消的干扰就不能抑制，即对三相正弦波电流不起作用。就辐射干扰而言，共模干扰占大多数，所以磁环对抑制辐射干扰有效。

② 变频器的输入、输出动力线的布局要防止对周边设备的控制线有电、磁场耦合，即要防止这些动力线与某条控制线平行捆扎在一起

或过于靠近。

③ 数字式测量仪器仪表的输入阻抗高，频率响应特性好，很容易受变频器本体和输入、输出线辐射干扰影响，造成数字式测量仪器仪表显示乱跳或完全不能测量。因此，要求数字式测量仪器仪表远离变频器及变频器的输入、输出线。如不可能远离，应对数字式测量仪器仪表的本体、测量线进行屏蔽。屏蔽线的外套金属网不能两端接地，只能一端接地，接地端设在数字式测量仪器仪表侧，由此形成静电屏蔽，如图4-28所示。另外一种方法是使用双绞线作为数字式测量仪器仪表的输入线，每绞间距不得大于1cm。干扰严重时可以综合采用多种措施：双绞线＋屏蔽套、屏蔽箱、拉开距离、变频器的输入和输出线加磁环或电抗器等。

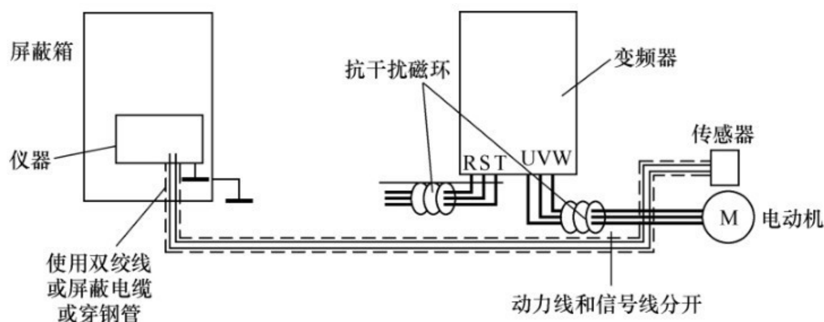


图4-28 对数字式仪器或其他敏感仪器的抗干扰处理方法

4．变频器接地技术

（1）接地的目的

接地是有效提高变频调速系统中电子电气设备电磁兼容性能的重要手段之一，正确的接地既能抑制外部电磁干扰的影响，又能防止变频调速系统中的电子电气设备向外部发射电磁波；而错误的接地常常会引入非常严重的干扰，甚至会使变频调速系统中的电子电气设备无法正常工作。在变频调速系统中，因为有多种控制检测装置分散布置在许多地方，所以，它们各自的接地往往会形成十分复杂的接地网络，接地不仅需要在系统设计时周密考虑，而且在安装和调试时也要仔细检查和作适当的调整。接地的目的有以下3个。

① 接地使整个系统中的所有单元电路都有一个公共的参考零电位，保证电路系统能稳定地工作。

② 防止外界电磁场的干扰。机柜接地可以使得由于静电感应而积累在机柜上的大量电荷通过大地泄放，否则这些电荷形成的高压可能引起设备内部的火花放电而造成干扰。另外，对于电路的屏蔽体，若选择合适的接地，也可以获得良好的屏蔽效果，避免在外界电磁环境作用下使设备对大地的电位发生变化而造成设备工作的不稳定。

变频调速系统中电子电气设备的某些部位与大地相连可以起到抑制外部干扰的作用，例如静电屏蔽层接地可以抑制变化的电场干扰，电磁屏蔽用的导线原则上可以不接地，但不接地的屏蔽导线时常会带来静电耦合而产生所谓的“静电屏蔽”效应，所以仍需要接地。

③ 保证设备操作人员的人身安全。当发生直接雷电的电磁感应时，接地可避免变频调速系统中的电子电气设备毁坏；当工频交流电源的输入电压由于绝缘不良或其他原因直接与机柜相通时，可避免操作人员触电的事故发生。

以确保人员和设备的安全为目的的接地称为保护接地，它必须可靠地接在大地电位上。一般来说，变频调速系统中电子电气设备的金属外壳、底盘、机座的接地都属于保护接地的范畴。

由此可见，设备接大地除了是对人员安全、设备安全的考虑外，也是抑制干扰发生的重要手段。良好的接地可以保证设备或系统正常工作以及人身安全，可以消除各种电磁干扰和雷击等。所以，接地设计是非常重要的，但也是难度较大的课题。地线的种类很多，有逻辑地、信号地、屏蔽地、保护地等。接地的方式也可分为单点接地、多点接地、混合接地和悬浮地等。理想的接地面应为零电位，各接地点之间无电位差。但实际上，任何“地”或接地线都有电阻，当有电流通过时就会产生压降，使地线上的电位不为零，两个接地点之间就会存在地电压。当电路多点接地并有信号联系时，就将构成地环路干扰电压。

变频调速系统中各类电路电流的传输、信息转换要求有一个参考电位，这个电位还可防止外界电磁场信号的侵入，常称这个电位为逻

辑地。这个“地”不一定是地理地，可能是变频调速系统的金属机壳、底座、印制电路板上的地线或建筑物内的总接地端子、接地干线等。逻辑地可与大地接触，也可不接触，而电气地必须与大地接触。

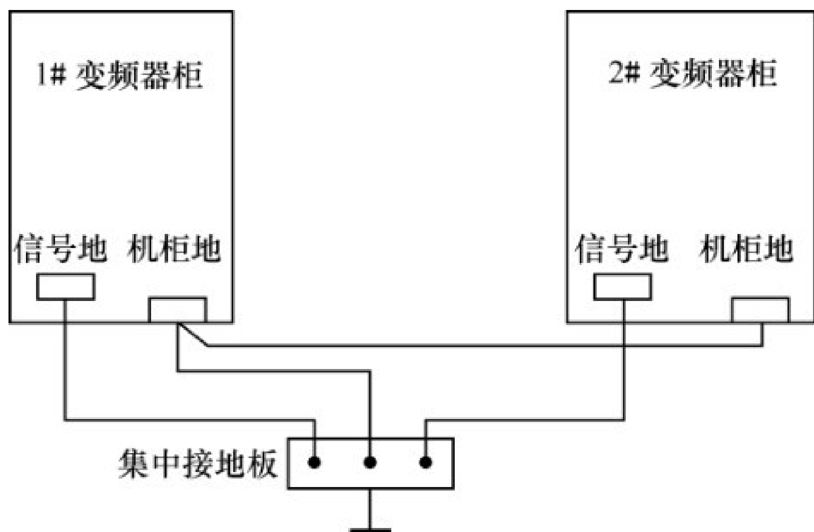


图4-29 变频器柜接地实例

虽然从抗雷电和静电放电，以及安全的角度看，变频调速系统中的设备需要接大地，但是从电磁干扰的角度看，大地可能形成地环路，对信号造成干扰。变频调速系统中有将内部电路连接到金属机柜上的机柜地端子，也有为内部电路地线电流提供低阻抗通路的信号地端子。在设备简单的场合，机柜地与信号地在内部连接起来，然后作为接大地端。两台变频器机柜的接地方式如图 4-29 所示。两台设备与地板之间是绝缘的，信号端子与机柜接地分别在一点接地。这样，流过设备的噪声电流就不会流到信号地线上，因此不会造成电位基准面的变动。并且，由于各个信号端子分别接地，因此，不会发生地线电流的相互干扰。

（2）接地方式的分类

概括来讲，变频调速系统的接地可以分为系统接地、屏蔽接地和防雷接地。系统接地又可以细化成下面几种接地方式。

① 交流工作接地（中性线），接地电阻不应小于4□。

② 安全保护接地，接地电阻不应小于4□。

③ 直流工作接地（逻辑接地），接地电阻应按照系统的具体要求确定。

④ 防静电接地。防静电接地是电气设计中不允许被忽视的组成部分，有许多静电导致设备故障的事例。静电接地可以经限流电阻及自身的连接线与接地装置相连，在有爆炸和火灾隐患的危险环境，为防止静电能量泄放而造成静电火花引发爆炸和火灾，限流电阻值宜为1M□。

变频调速系统中有许多屏蔽单元，如供电隔离变压器的屏蔽层，局部空间或线路的屏蔽罩（设备外壳），动力屏蔽电缆、信号传输屏蔽电缆的屏蔽层。这些带屏蔽的导体只有良好接地才能充分发挥作用。

系统接地和屏蔽接地宜共用一组接地装置，其接地电阻按照其中的最小值确定。设置防雷接地时，应按照现行的《建筑物防雷设计规范》GB　50057—1994设计，并应采取《建筑物防雷设计规范》中规定的防止反击措施。

（3）变频调速系统的接地方式

变频调速系统的接地一般有3种方式，如图4-30所示。其中，图4-30（a）所示为变频器和其他设备分别接地的方式，这种接地方式最好。如果做不到每个设备分别接地，可使用图4-30（b）所示的公共接地方式，但不允许使用图4-30（c）所示的共用接地方式，特别是应避免与电动机、变压器等动力设备共用接地。在安装变频器时，安装板应使用无漆镀锌钢板，以确保变频器的散热器和安装板之间有良好的电气连接。确保传动柜中的所有设备接地良好，使用粗短的接地线将其连接到公共接地点或接地母排上。特别重要的是，连接到变频器上的任何控制设备（如PLC）要与其共地，同样也要使用粗短的导线接地，最好采用扁平导体（例如金属网），因其在高频时的阻抗较低。电动机电缆的地线应直接连接到相应变频器的接地端子（PE）上。

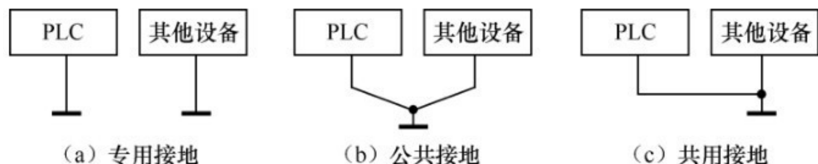


图4-30 变频调速系统的3种方式

（4）变频调速系统通信线屏蔽层接地

在采用上位机通过RS-232/485与变频调速系统通信时，由于接地点不在一起，不同接地点之间会出现地电位差，在屏蔽线中形成地回路，不仅起不到屏蔽作用，反而带来干扰。特别是在上位机侧，一般没有专用接地，电源插座的接地端子往往采用接零线方式，会造成上位机或者变频调速系统的接口模块损坏。

由于变频调速系统的通信控制信号的频率一般低于100kHz，所以一般不用带状电缆，而采用屏蔽电缆或者双绞线。但在实际应用过程中，由于接地不当，经常出现接地比不接地时通信误码率高的现象，从而使人产生了屏蔽电缆要不要接地，如果要接地，是采用一点、两点还是多点接地的疑惑。据有关资料，在通信频率低于100kHz时，选用一点接地效果较好，对于采用Profibus、Modbus总线控制的高速率通信控制电缆的屏蔽层应该选用多点接地，最少也应该两端接地，并且采取在通信线路较长时在网络的终端加终端匹配电阻等抗干扰措施。对于高速率通信的电缆采取多点接地可以减小屏蔽层的静电耦合。另外，还有一个根据传输信号的波长来判别接地方式的参考标准。以传输信号波长λ的1/4为界，通信传输线的长度小于λ/4时采用一点接地；长度大于λ/4时，由于屏蔽层也能起到天线作用，应采用多点接地，在多点接地时最理想的情况是每隔（0.05～0.1）λ有一个接地点。

另外，在传输上升沿、下降沿非常陡峭的信号时，也应实施多点接地。如果从干扰角度讲，低频干扰严重时采用屏蔽单点接地方式，在高频干扰情况下要多点接地，同时在通信电缆中提供一根等电位线将各节点的通信串起来，以提高抗干扰能力。

（5）传感器信号的屏蔽层接地

变频调速系统的输入端接有各类传感器（如脉冲编码器、旋转变压器、压力传感器、温度传感器、张力传感器、线速度传感器等），这些传感器的一个共同特点是：为了提高抗干扰能力，信号线均采用屏蔽线，而且屏蔽线在传感器内部与传感器壳体接在一起。当将传感器安装在电动机、管道或者生产线上时，屏蔽层就与这些设备相连接，而在传感器与变频调速系统或其他控制设备连接时，屏蔽层又连接至 PE 端子。如果此时变频调速系统或外部设备接地不良，就会出现通过屏蔽层接地的情况，形成对地电流I_E ，对系统工作的可靠性产生很大影响，严重时系统将无法工作。因此，在采用外部传感器的系统中，距离较远时，一定要保证外部设备和变频调速系统可靠、独立接地，或者选用外壳不与控制屏蔽层连接的传感器，在变频调速系统侧实施一点接地；距离较近时，可采用公共接地母排接地，保证传感器与控制设备接地点之间的电位差近似为零，从而消除地环流形成的干扰。

（6）模拟信号的屏蔽层接地

实践证明，双绞线或双绞屏蔽线对磁场的屏蔽效果明显优于单芯屏蔽线，对于采用标准4～20mA/0～10V/1～5V 模拟信号的变频调速系统，传输模拟信号的电缆一定要采用双绞线或屏蔽电缆。在实际的变频调速系统中，各种通道的信号频率大多在1MHz内，属于低频范围。由于模拟信号的频带较窄，双绞线或屏蔽电缆原则上在变频调速系统一侧实施接地，即应在线路对地分布电容大的一端接地，这样能够减小信号电缆对地分布电容的影响。在实际系统中，一般在信号电缆数量多的一侧接地。另外，对于抗干扰要求非常高的场合，可采用双重静电屏蔽的电缆。此时，外屏蔽层接屏蔽地线，内屏蔽层接系统地线。系统地线可以是变频调速系统的隔离地、模拟控制地，或者系统独立的接地线。对于共模干扰严重的场合，可通过添加共模电感来消除共模干扰；对于多点地电位浮动频繁的场合，可采用 DC/DC 隔离模块来实现电气隔离以抑制干扰。

第5章 变频调速系统的参数设置与调试

- 变频器的参数设置
- 变频器参数设置实例
- 变频调速系统的调试
- 变频器调试实例

5.1 变频器的参数设置

5.1.1 变频器的参数

1．参数设置

变频器出厂时，厂家对每一个参数都有一个默认值，这些参数叫工厂值。在这种情况下，用户能以面板操作方式正常操作，但面板操作并不满足大多数传动系统的要求。所以，应用时必须对变频器的参数进行设置。频器参数的设置是十分重要的，若参数设置不当，不能满足工艺设备的需要，会导致变频调速系统启动、制动失败，或运行时跳闸，使变频调速系统不能正常运行，严重时会损坏变频器的功率模块IGBT或整流桥等器件。变频器的品种不同，参数亦不同。一般单一功能控制的通用型变频器有 50～60 个参数，多功能控制的变频器有200 个以上的参数。但变频器的大多数参数不需要设置，可按出厂时的设置值，只需把使用时与出厂值不合适的参数予以重新设置即

可，如外部端子操作、模拟量操作、基底频率、最高频率、上限频率、下限频率、启动时间、制动时间（及方式）、热电子保护、过电流保护、载波频率、失速保护和过电压保护等参数是必须重新设置的。若设置后变频器运行不正常时，需对部分参数进行调整。

变频器需设置的每个参数均有一定的选择范围，使用中常常遇到因个别参数设置不当，导致变频器不能正常工作的现象。因此在设置变频器参数前，应了解和掌握所使用的变频器的技术性能和设置方法。因不同品牌的变频器参数设置方法是不同的，即使是同一品牌，其参数设置方法也不尽相同，所以，用户在正确使用变频器之前，要对变频器的参数进行设置。

① 确认电动机参数，如功率、电流、电压、转速、最大频率等，这些参数可以从电动机铭牌中直接得到。

② 变频器采取的控制方式，即速度控制、转距控制、PID控制或其他方式。采取一定的控制方式后，一般要根据控制精度进行静态或动态辨识。

③ 设置变频器的启动方式，一般变频器在出厂时设置为从面板启动，用户可以根据实际情况选择启动方式，如用面板启动、用外部端子启动、用通信方式启动等。

④ 给定信号的选择，一般变频器的频率给定也可以有多种方式，如面板给定、外部给定、外部电压或电流给定、通信方式给定。当然，对于变频器的频率给定，也可以是这几种方式中的一种或几种方式综合运用。正确设置以上参数之后，变频器基本上能正常工作，如要获得更好的控制效果，则只能根据实际情况修改相关参数。

2．上、下限频率

变频调速系统根据工艺过程的实际需要，常要求对转速范围进行限制，即系统的最高转速和最低转速。可根据传动系统的工作状况来设置，可以是保护性设置（即变频器的输出频率不得超过所设置的范围），也可以是程序性设置（即根据程序的需要，或上升至上限频率，或下降至下限频率）。根据系统所要求的最高与最低转速以及电动机与生产机械之间的传动比，可以计算出相对应的变频器输出频

率，分别称之为上限频率（用 f_H 表示）与下限频率（用f_L 表示），如图5-1所示。变频调速系统的上限频率小于或等于最高频率。

$$f_H \le f_{max} \quad (5\text{-}1)$$

变频调速系统的频率限制值为变频器输出频率的上、下限值。频率限制是为避免误操作或外接频率设置信号出故障而引起变频器的输出频率过高或过低，以防损坏工艺设备的一种保护功能。在应用中应按实际情况设置。频率限制功能还可作限速用，如有的皮带输送机由于输送的物料不太多，为减小机械和皮带的磨损，可将变频器的上限频率设置为某一频率值，这样就可使皮带输送机运行在一个固定的、较低的工作速度上。

预置变频器给定信号的上、下限值时，给定信号的最大限值用 X_{max} 表示，最小限值用X_{min} 表示，也可以用百分数X_{min} %来表示，如图 5-2（a）所示。预置给定频率的上、下限值时，给定频率的最大值 f_{max} 和最小值f_{min} 如图 5-2（b）所示。设定变频器的上、下限频率时应注意以下事项。

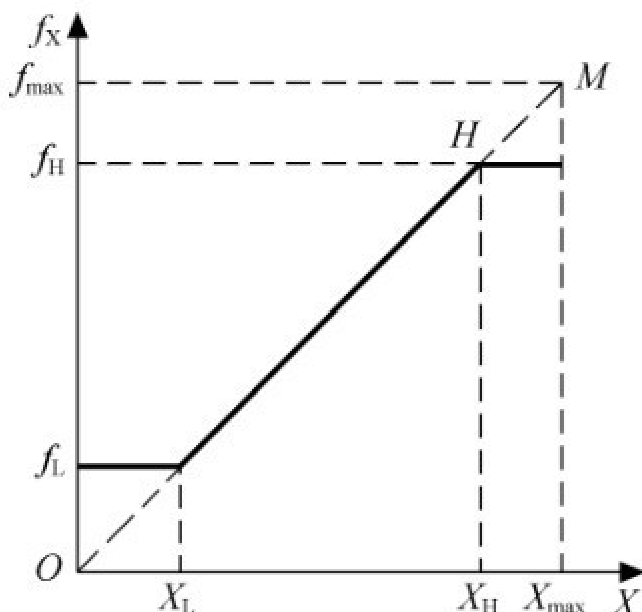


图5-1 上限频率和下限频率

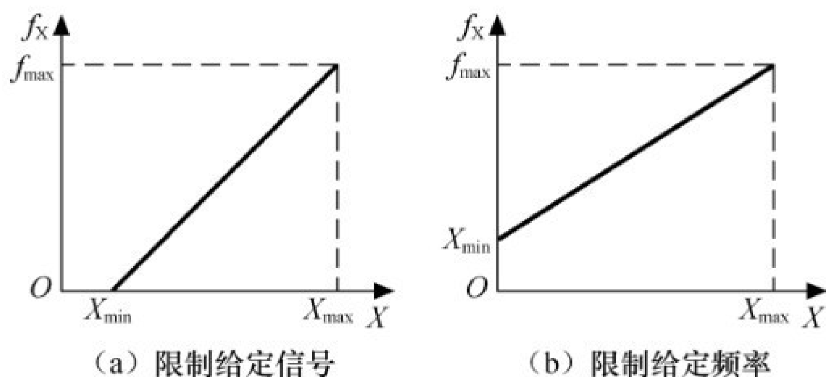


图5-2 频率给定线的起点与终点

① 对于转子直径大的电动机（受转子耐受离心力的限制）以及受高速过载过电流限制的平方率负载，一般不要选择上限频率大于电动机的额定频率。

② 对于静态阻尼大的负载以及对水泵扬程有要求的负载，一般不要选择下限频率为零或较小，须根据工艺设备的特性设置一个合适的下限频率f_{BI}。

③ 变频器的最低运行频率为电动机运行时的最低转速。电动机在低转速下运行时，其散热性能很差，长时间运行在低转速下会导致电动机温度升高。而且低速时，其电缆中的电流会增大，也会导致电缆发热。通用变频器长期运行在低速区域时，其系统性能将下降。

④ 通用变频器的最高频率为60Hz，有的可到400Hz，高频率将使电动机高速运转。对于普通电动机来说，不能长时间超过额定转速运行，在参数设置时需根据电动机的机械参数限定变频器的最高运行频率。

在用外部模拟信号（如0～10V电压）设置工作频率时，10V电压所对应的频率就是最高频率，可以达到 400Hz，所以，对最高频率必须重新设置，否则将产生严重故障。通常将最高频率的初始值设置为50Hz，即在外部信号最大给定10V时，变频器最高只能输出50Hz频率，保证电动机在工频以下安全运行。

3．载波频率

目前中小功率的变频电路几乎都采用 PWM 技术，PWM 变频电路也可分为电压型和电流型两种。根据正弦波的频率、幅值和半周期脉冲数，准确计算PWM波的各脉冲宽度和间隔，据此控制变频电路中开关器件的通断，就可得到所需的PWM波形。当输出正弦波的频率、幅值或相位变化时，其结果都要变化。通常采用等腰三角波或锯齿波作为PWM波的载波，其中等腰三角波的应用最多，其任一点的水平宽度和高度成线性关系且左右对称，与任一平缓变化的调制信号波相交，在交点处控制开关器件的通断，就得宽度正比于信号波幅值的脉冲，符合PWM的要求。各脉冲的上升沿和下降沿都是由正弦波和三角波的交点决定的，在这里正弦波称为调制波，三角波称为载波。三角波的频率称为载波频率，用f_c 表示。载波频率设置得越高，其高次谐波分量越大，将导致电动机、电缆和变频器发热。

在 PWM电压脉冲序列的作用下，变频器输出的电流波形是脉动的，脉动频率与载波频率一致。脉动电流将使电动机铁芯的硅钢片之间产生电磁力并引起振动，产生电磁噪声。

变频器的运行频率越低，则电压波的平均占空比越小，电流高次谐波成分越大，因此，应适当提高载波频率，以改善变频器输出电流的波形。变频器逆变桥同一桥臂的上下两个开关管不停地交替导通，为了保证在交替导通时，只有在一个开关管完全截止的情况下，另一个开关管才开始导通，在两个开关管交替导通过程中必须设有一个死区时间，以防止两个开关管直通短路。在逆变桥中，上下两个开关管在交替导通过程中的死区时间越短，载波频率越高，死区时间过短易导致桥臂“直通”而损坏变频器。变频器载波频率与死区时间的关系如下。

① 变频器的输出电流越大，每次两个开关管交替导通所要求的死区时间也越长。

② 载波频率越高，则死区时间的累计值越大，变频器实际工作的时间越短，变频器的平均输出电流越小，输出功率越小。

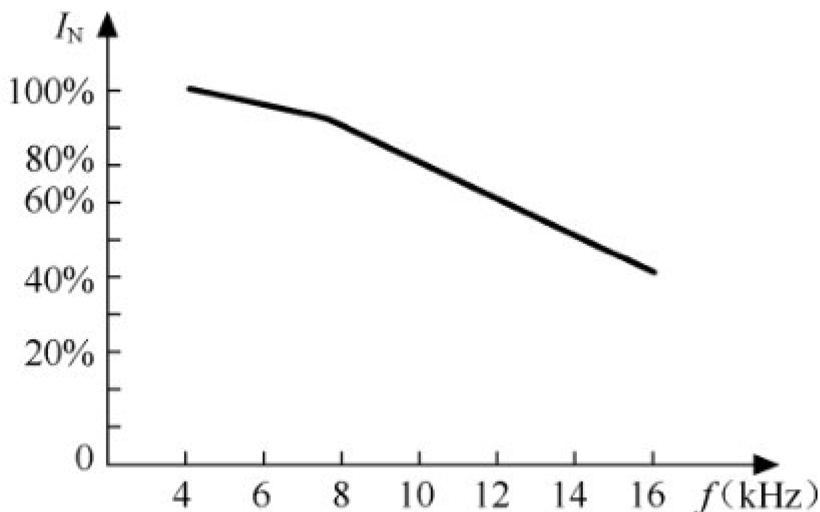


图5-3 载波频率对输出电流的影响

载波频率对输出电流的影响如图5-3所示，载波频率越高，变频器输出端线路之间以及线路与地之间的分布电容的容抗越小，由高频脉冲电压引起的漏电流越大。载波频率对电气设备的影响表现在以下几个方面。

① 当电动机与变频器之间的距离较远时，则载波频率越高，由线路分布电容引起的不良效应（如电动机侧电压升高、电动机振动等）越大。

② 载波频率越高，其高频电压通过静电感应对附近的其他电气设备的干扰也越严重。高频电流产生的高频磁场将通过电磁感应对其他电气设备的控制线路产生干扰，高频电磁场具有强大的辐射能量，使其他电气设备尤其是通信设备受到干扰。

③ 载波频率设置得越高，其高次谐波分量越大，这和电缆长度、电动机发热、电缆发热、变频器发热等因素是密切相关的。电动机定子绕组的集肤效应越严重，有效电阻值及其损失增大，电动机的输出功率越小。

目前低电压通用型变频器的逆变回路大多采用 IGBT器件构成，IGBT器件具有开关速度快、损耗小、触发电路简单等优点。用于变频

器上的IGBT器件，其载波频率一般设置为0.75～15kHz，通常这个数值是可调的。设置值小时，输出电流波形变差（高次谐波分量增加），电动机的有效转矩减小，损耗增加，温度升高；设置值大时，变频器自身损耗增加，温度上升，同时变频器输出电压的变化率du/dt增大。载波频率对变频器运行的影响见表5-1。

表5-1 载波频率对变频器运行的影响

载波频率	电动机噪声	输出电流波形	漏电流	干扰	du/dt
高	小	好	大	大	大
低	大	差	小	很小	小

变频器输出电压的变化率du/dt对电动机的绝缘有很大影响。du/dt主要取决于两个方面：一是电压跳变台阶的幅值，它与变频器的电压等级和主电路结构有关；二是逆变器功率器件的开关速度，开关速度越高，du/dt越大。

许多品牌的低压变频器通常在出厂时将此载波频率参数设置为最大。然而，过高的载波频率不一定适合每个负载情况，因为现场使用的低压变频器属于普通的二电平电压型变频器，相电压跳变台阶较大，达到直流母线电压，变频器输出多数未使用输出滤波器，且变频器至电动机的距离较长，大都在 100m左右。由于线路分布电感和分布电容的存在，会产生行波反射放大作用，在参数适合时，加到电动机绕组上的电压会成倍增加，对电动机的绝缘（特别是F级绝缘以下的老式电动机）构成很大威胁，甚至会烧毁电动机。因此，在现场一定要对这个参数进行合理设置，确保系统高效安全运行。

4．回避频率

任何机械设备在运转过程中都会产生一定的振动，而每台机械设备又都有一个固有振荡频率，它取决于机械设备的结构。如果生产机械设备运行在某一转速下时，所引起的振荡频率和机械设备的固有振荡频率相吻合，则机械设备的振动将因发生谐振而变得十分强烈（也称为机械共振），可能导致机械设备损坏。

用变频器驱动异步电动机运行时，在某些频段内电动机的电流、转速会发生振荡，严重时变频调速系统无法运行，系统在加速过程中

可能出现变频器过电流保护动作而使电动机不能正常启动，在电动机轻载或转动惯量较小时电动机电流、转速的振荡更为严重。为此，变频器均设有频率回避功能，可以根据系统出现振荡的频率点，在U/F曲线上设置回避频率点或回避频率点宽度，以在电动机加速时可以自动跳过系统出现振荡的频率点或频段，保证系统正常运行。设置回避频率 f_J 的目的，就是使变频调速系统回避可能引起谐振的转速，如图5-4所示。预置回避频率时，必须预置以下两个参数。

① 中心回避频率f_J ，即回避频率所在的位置。

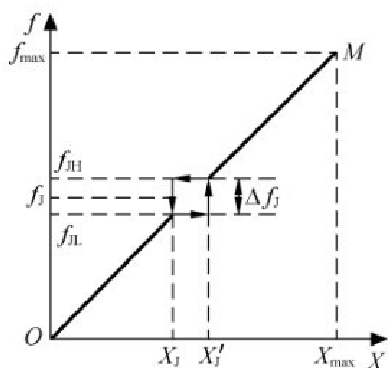
② 回避频率宽度□f_J ，即回避频率的区域，如图 5-4（a）所示。大多数变频器都可以预置3个回避频率段，如图5-4（b）所示。

5．偏置频率

偏置频率又叫偏差频率，其作用是当频率由外部模拟信号（电压或电流）进行设置时，可用偏置频率调整频率设置信号最低时的输出频率，频率设置信号与输出频率的关系如图5-5所示。当变频器的频率设置信号为0%时，偏置频率的偏差值可作用在0～f_{max} 范围内，有的变频器（如明电舍、三垦等品牌）还可对偏置极性进行设置。若在系统调试中，当频率设置信号为 0%，变频器的输出频率不为零而为某一频率值时，可将偏置频率设置为变频器输出的某一频率的负值，即可使变频器输出频率为零。偏置频率用f_{BI} 表示，也可用偏置频率的百分数f_{BI} %表示。

$$f_{BI}\% = \frac{f_{BI}}{f_{max}} \times 100\% \tag{5-2}$$

式中：f_{BI} %为偏置频率百分数；f_{BI} 为偏置频率（Hz）；f_{max} 为变频器的最大输出频率（Hz）。



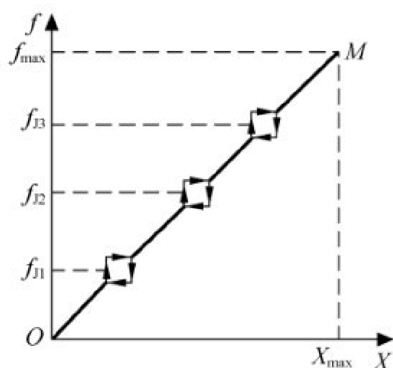


图5-4 回避频率

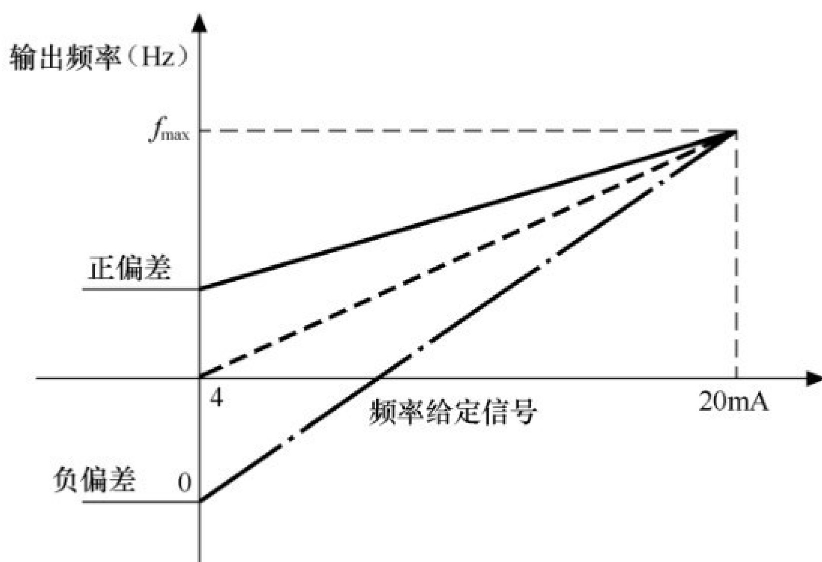


图5-5 频率设值信号与输出频率的关系图

6．频率设置信号增益

频率设置信号增益功能仅在用外部模拟信号设置频率时才有效，是用来解决外部设置信号电压与变频器内电压（+10V）不一致的问题，同时方便模拟设置信号电压的选择。当给定信号为最大值X_{max}时，对应的最大给定频率f_{XM} 与变频器预置的最大输出频率f_{max} 之比的百分数定义为频率增益，用G%表示。

$$G\% = \frac{f_{XM}}{f_{max}} \times 100\% \quad (5\text{-}3)$$

式中：G%为频率增益；f_{max} 为变频器预置的最大频率（Hz）；f_{XM} 为虚拟的最大给定频率（Hz）。

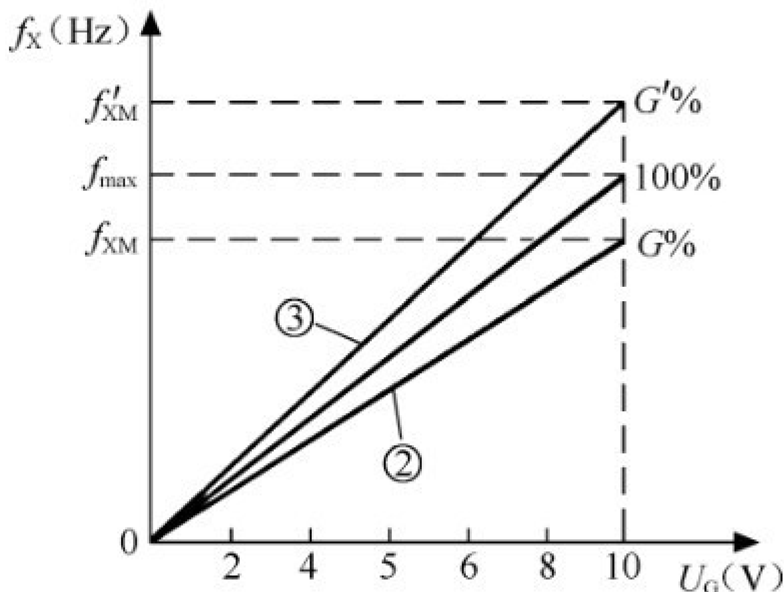


图5-6 频率增益

变频器的最大给定频率f_{XM} 与最大频率f_{max} 不一定相等，当频率增益G% ＜ 100%时，变频器实际输出的最大频率就等于给定频率f_{XM} ，如图 5-6 中的曲线②所示。当频率增益G%＞100%时，变频器实际输出的最大频率等于最大频率f_{max} ，如图5-6中的曲线③所示。当输入最大信号时，若输出频率不满足要求，可通过调整频率增益G%解决。G%下调时最大输入信号的频率下降；相反，G%上调时最大输入信号的频率上升。

7．频率指令的保持

频率指令的保持功能是在变频器停止运行后，对是否保持停机前的运行频率作出选择。若频率保持功能无效，系统启动时变频器的运

行频率为 0Hz，如要回复到原来的工作频率，须重新加速。若频率保持功能有效，系统启动时变频器的运行频率自动上升到停机前的工作频率。

8．点动频率功能

各类机械在调试过程中经常使用到点动操作方式，为此，变频器设有点动频率功能，主要用于系统调试。点动频率f_J 是通过功能预置来确定的，有的变频器也可以预置多挡点动频率，点动频率较低时一般也不需要调节。

5.1.2 变频器的频率给定

在变频调速系统应用中要调节变频器的输出频率，必须首先向变频器提供改变频率的信号，这个信号称为频率给定信号，也称为频率指令信号或频率参考信号。所谓给定方式，就是调节变频器输出频率的具体方法，也就是提供给定信号的方式。可由控制盘、端子台、微机联网3种方式设置频率，通常只用控制盘和端子排两种方式。但对这两种方式也要有所选择，如VF61变频器用控制盘操作时选择DIR模式，用端子排操作时选择REM模式，否则在DIR模式下端子排不能操作，在REM模式下控制盘不能操作。当用控制盘操作时，在控制盘上设置一个频率，电动机就以一个固定频率旋转，若想改变转速，需再重新设置一个频率。对于通用型变频器来说，有以下几种频率给定方式。

1．面板给定方式

通过变频器面板上的键盘或电位器进行频率给定（即调节频率）的方式称为面板给定方式。用变频器的操作面板进行频率设置，只需操作面板上的上升、下降键，就可以实现频率的设置。该方法不需要外部接线，操作简单，频率设置精度高，属于数字量频率设置方式，适用于单台变频器的频率设置。部分变频器在面板上设置了电位器，频率大小也可以通过电位器来调节。电位器给定属于模拟量给定，频率设置精度稍低。

多数变频器在面板上并无给定电位器，变频器说明书中所说的面板给定实际上就是键盘给定。变频器的面板通常可以取下，通过延长线安置在用户操作方便的地方。采用哪一种给定方式，须通过功能预置来事先决定。

2．外部给定方式

从变频器的输入端子输入频率给定信号来调节变频器输出频率的大小，称为外部给定或远控给定。主要的外部给定方式如下。

① 外接模拟量给定。通过变频器的外接给定端子输入模拟量信号（电压或电流）进行给定，并通过调节给定信号的大小来调节变频器的输出频率。模拟量给定信号的种类如下。

• 使用电压端子：以电压大小作为给定信号，给定信号的范围有0～10V、2～10V、0～±10V、0～5V、1～5V、0～±5V等。

• 使用电流端子：以电流大小作为给定信号，给定信号的范围有0～20mA、4～20mA等。

可以任意设置其中的一种或多种输入，变频器内部用 10 位以上的模/数转换器将其转换成数字量。应用这种方式设置变频器的运行频率可以实现外控操作，且在现场可以实时修改，但模拟量在传输过程中易受干扰，特别是电压信号更容易受干扰，造成系统运行不稳定。

② 外接数字量给定。通过变频器的外接给定端子输入开关信号进行给定。对于这种设置频率的方式，各种品牌的变频器叫法不一，如ABB 变频器称之为电动电位器，而富士变频器称之为上升/下降功能等。实际上就是利用变频器本身的多功能数字输入端子来改变变频器的运行频率，且升/降速的速率可调。

③ 外接脉冲给定。通过变频器的外接给定端子输入脉冲序列进行给定。

④ 通信给定。由PLC或计算机通过变频器的通信接口进行频率给定。这种以串行通信方式设置变频器运行频率的方法在变频调速系统中的应用最为广泛，常见的有 RS-485 或CAN总线等。

⑤ 编程给定。当使用控制端子X1，X2，…时，设置各自对应的

频率。

当然，在通用型变频器的频率设置方式中，以上几种常见的给定方式也并非独立存在，它们可以组合使用，例如ABB800系列变频器在设置频率时就可以用模拟量的代数和、多个模拟量的最大值、多个模拟量的最小值、模拟量的乘积、模拟量与通信量的和等多种组合方式，在使用中应根据实际情况灵活运用。

3．选择给定方式的一般原则

在选择给定方式时应优先选择面板给定方式，因为面板给定不需要外部接线，方法简单，频率设置精度高。变频器的操作面板包括键盘和显示屏，而显示屏的显示功能十分齐全，但在实际工程应用中由于受连接线长度的限制，可选择外部给定方式，但应优先选择数字量给定方式。这是基于以下原因考虑的。

① 数字量给定时频率精度高。

② 数字量给定通常用触点操作，不但不易损坏，而且抗干扰能力强。

在给定信号选择上应优先选择电流信号，因为电流信号在传输过程中不受线路电压降、接触电阻、杂散的热电效应以及感应噪声的影响，抗干扰能力较强。但由于电流信号电路比较复杂，故在距离不远的情况下仍以选用电压给定方式者居多。

4．频率给定异常现象

变频器在采用外部模拟量或数字量给定时，由于接线或电磁干扰等因素会出现以下异常现象。

① 给定信号丢失。当外接模拟给定信号因电路接触不良或断线而丢失时，变频器需对处理方式作出选择，如是否停机、是否继续运行、在多大频率下运行等。

② 给定信号的频率低于最低频率。在频率很低时有的负载实际上不能运行，因而需要预置“最低频率”。对应地，也就有一个最小给定信号。当实际给定信号小于最小给定信号时，变频器视为异常状态。

③ 模拟量给定的滤波时间不正确。滤波的目的是消除干扰信号对给定信号的影响。滤波时间常数是指给定信号上升至稳定值 63%所需

的时间。若滤波时间太短，当变频器显示“给定频率”时，有可能不够稳定。若滤波时间太长，当调节给定信号时，给定频率随给定信号改变时的响应速度较慢。

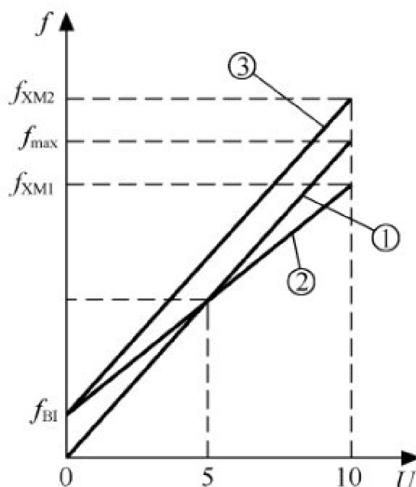
④　　用模拟量给定信号进行正、反转控制时，“0”速控制很难稳定。在给定信号为“0”时，常常出现正转或反转的“蠕动”现象。为了防止出现这种“蠕动”现象，需要在“0”速附近设置一个死区DX，使给定信号在－△X～＋△X的区间内时输出频率为0Hz。

⑤ 在给定信号为单极性的正、反转控制方式中，存在的问题是给定信号由于电路接触不良或其他原因而“丢失”，则变频器的给定输入端得到的信号为“0”，其输出频率将跳变为反转的最大频率，电动机将从正常工作状态转入高速反转状态。在生产过程中，出现这种情况将是十分危险的，甚至有可能损坏生产机械和造成人身事故。对此，变频器设置了一个有效“0”功能。也就是说，变频器的最小给定信号不等于0($X_{min} \neq 0$)。如果给定信号$X = 0$，变频器将认为是故障状态而把输出频率降至零。例如，将有效“0”预置为 0.3V，当给定信号$X=0.3V$时，变频器的输出频率为f_{min}；当给定信号$X<0.3V$时，变频器的输出频率降为零。

5．频率给定线

由外部模拟量进行频率给定时，变频器的给定信号X可以是电压信号U_G，也可以是电流信号I_G。给定信号X与给定频率f_X之间的关系曲线 $f_X = f(X)$ 称为频率给定线。频率给定线分为以下两种。

① 基本频率给定线。基本频率给定线是基本信号变动范围所对应的基本频率范围，如图5-7中的曲线①，在给定信号X从0增大至最大值X_{max}的过程中，给定频率f_X也线性地从0增大到最大频率f_{max}，该曲线称为基本频率给定线。



线①为基本频率给定线，f_{max}为对应最高输入电压的输出频率，
U=0时$f=f_{BI}$=0Hz，U为最大时$f=f_{max}$，即G=100%；
线②对应于频率增益$G<100\%$，$f_{XM1}<f_{max}$，通常偏置频率可设为f_{BI}；
线③对应于频率增益$G>100\%$，$f_{XM2}>f_{max}$，通常偏置频率可设为f_{BI}

图5-7 频率给定线和频率增益的含义

② 任意频率给定线。任意频率给定线需设置最低频率和最高频率，如图5-7中的曲线②所对应着输出频率 f_{BI} ~ f_{XM1} （f_{BI} 为最低频率，也称偏置频率；f_{XM1} 为最高频率，且f_{XM1} < f_{max} ）。当频率增益G＞100%时，f_{XM1} ＝f_{max} 。图 5-7 中的曲线③对应着输出频率f_{BI} ~ f_{XM2} （f_{BI} 为最低频率，也称偏置频率；f_{XM2} 为最高频率，且 f_{XM2} > f_{max} ），任意给定线的设置应考虑上、下限频率的要求。

变频调速系统驱动的生产机械设备所要求的最低频率及最高频率不一定是零和额定频率，所以，在系统调试需要对频率给定线进行适当的调整，使之符合生产工艺实际的需要。通常是调整频率给定线的起点（调整给定信号为最小值时对应的频率）和调整频率给定线的终点（调整给定信号为最大值时对应的频率），通过预置起点坐标（X_{min} ，f_{min} ）与终点坐标（X_{max} ，f_{max} ）来预置频率给定线，如图5-8（a）所示。如果系统要求频率与给定信号成反比，则起点坐标为（X_{min} ，f_{max} ），终点坐标为（X_{max} ，f_{min} ），如图5-8（b）所示。

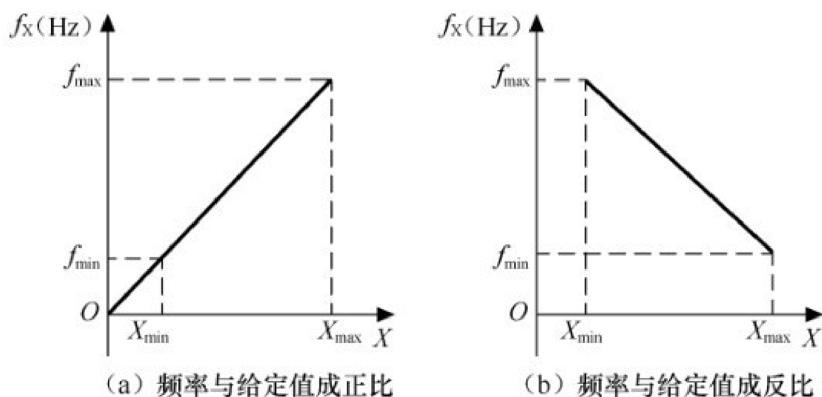


图5-8 直接预置坐标调整频率给定线

5.1.3 变频器压频比的正确设置

由于通用变频器一般采用 U/F 控制方式（变频器的压频比由变频器的基准电压与基准频率两个功能参数的比值决定，即基准电压/基准频率 ＝ 压频比），即采用变压变频（VVVF）方式调速，因此，在变频器使用前正确地设置压频比，对保证变频器的正常工作至关重要。

1．基频参数的概念

图5-9为变频器基频参数示意图。在基频以下，变频器的输出电压随输出频率的变化而变化，电压与频率之比（U/F）为常数，适合恒转矩负载特性；在基频以上，变频器的输出电压维持电源额定电压不变，适合恒功率负载特性。

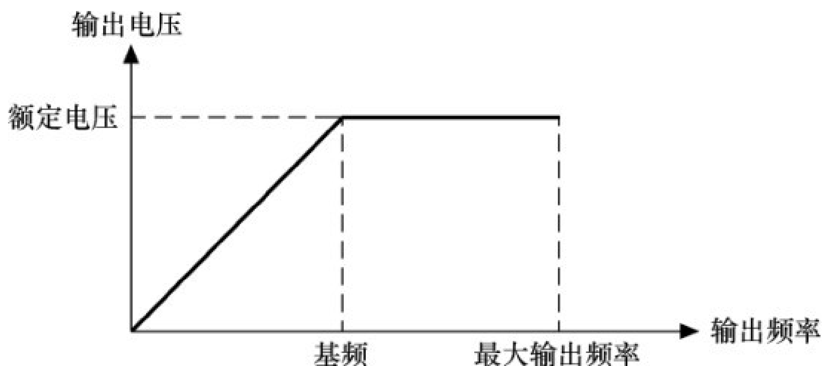


图5-9 变频器基频参数示意图

2．基频参数的设置

基频参数应该根据负载的额定参数设置，而不能根据负载特性设置。若负载为电动机，即使电动机选型不适合负载特性，也必须尽量遵循电动机的参数，否则，电动机容易过电流或过载。例如，如果电动机的额定工作频率为50Hz，则基频应设置为50Hz；如果电动机的额定工作频率为60Hz，则基频应设置为60Hz；如果电动机的额定工作频率为100Hz，则基频应设置为100Hz。

如果电动机选择专用的交流变频电动机，电动机上一般都标注有恒转矩、恒功率调速范围。如果标注5～100Hz为恒转矩，100～150Hz为恒功率，基频应该设置为100Hz。

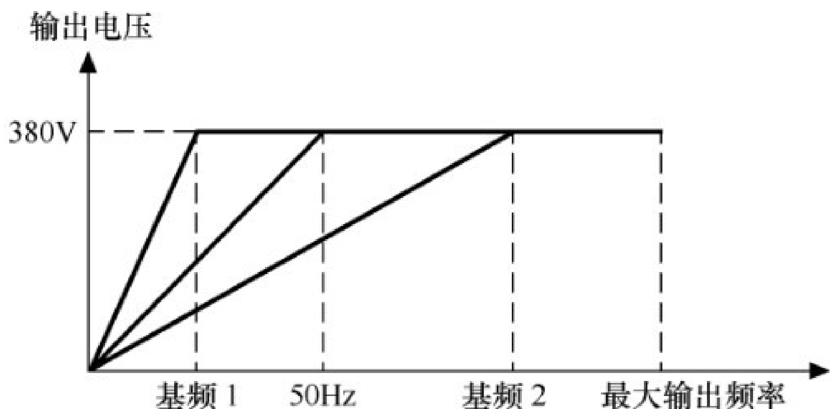


图5-10 变频器输出电压和输出频率的关系曲线

基频参数直接反映变频器输出电压和输出频率的关系，如果设置不当，容易造成负载的过电流或过载。例如一台交流电动机的额定工作频率为50Hz，额定电压为380V，如果变频器的基频设置为50Hz以下，如图5-10中的基频1，电压与频率之比较大，同等频率的输出电压高，输出电流大，在启动时容易造成过电流。如果变频器的基频设置为50Hz以上，如图5-10中的基频2，电压与频率之比较小，同等频率的输出电压低，输出电流小，在启动时容易造成无法启动而过载。

如果负载在低速时的转矩较大，而转矩补偿（电压与频率之比）预置得较小，则低速时带不动负载；反之，如果负载在低速时的转矩较小，而转矩补偿（电压与频率之比）预置得较大，则补偿过分，低速时电动机的磁路将饱和，励磁电流发生畸变，严重时会因励磁电流峰值过高而导致“过电流”跳闸。

调试时，电压与频率之比的预置宜由小逐渐加大，每加大一挡，观察在最低频时能否带得动负载，还应观察空载时会不会跳闸，一直调整到在最低频率下运行时既能带得动负载又不会空载跳闸时为止。

3．基频设置的注意事项

U/F类型的选择包括最高频率、基本频率和转矩类型等。最高频率是变频器、电动机系统可以运行的最高频率。由于变频器自身的最高频率可能较高，当电动机容许的最高频率低于变频器的最高频率时，应按电动机及其负载的要求进行设置。

基本频率是变频器对电动机进行恒功率控制和恒转矩控制的分界线，应按电动机的额定电压设置。转矩类型指的是负载是恒转矩负载还是变转矩负载。应根据变频器使用说明书中的U/F类型图和负载的特点，选择其中的一种类型。如为恒转矩负载，即使速度变化转矩也恒定的，如运输机械类，U/F曲线应设置为恒定特性。若为变转矩负载，如泵、通风机等负载，U/F应设置成平方律递减特性（转矩以速度的平方变化的负载）。例如，根据电动机的实际情况和实际要求，最高频率设置为83.4Hz，基本频率设置为工频50Hz。负载类型为：50Hz以下时为恒转矩负载，50～83.4Hz时为恒功率负载。

基准电压与基准频率参数的设置，不仅与电动机的额定电压与额

定频率有关（电动机的压频比为电动机的额定电压与额定频率之比），而且还必须考虑负载的机械特性。对于普通异步电动机，在一般调速应用时，其基准电压与基准频率按出厂值设置（基准电压为380V，基准频率为 50Hz），即能满足使用要求。但对于某些行业使用的较特殊的电动机，就必须根据实际情况重新设置基准电压与基准频率的值。

电动机用变频器调速时有两种情况：基频（基准频率）以下调速和基频以上调速。在设置压频比时必须考虑的重要因素是：尽量保持电动机主磁通为额定值不变。如果磁通过弱（电压过低），电动机铁芯不能得到充分利用，电磁转矩变小，带负载能力下降。如果磁通过强（电压过高），电动机处于过励磁状态，电动机因励磁电流过大而严重发热。根据电动机原理可知，三相异步电动机定子每相电动势的有效值为

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m \qquad (5\text{-}4)$$

式中：E_1 为定子每相由气隙磁通感应的电动势的有效值（V）；f_1 为定子频率（Hz）；N_1 为定子每相绕组的有效匝数；Φ_m 为每极磁通量。

由式（5-4）可以看出，Φm的值由E_1/f_1 决定，但由于E_1 难以直接控制，所以在电动势较高时，可忽略定子漏阻抗压降，而用定子相电压U_1 代替。要保证Φ_m 不变，只要U_1/f_1 始终为一定值即可。这是基频以下调速的基本情况，为恒压频比（恒磁通）控制方式，属于恒转矩调速。从图5-11中可以看出，基准频率为恒转矩调速区的最高频率，基准频率所对应的电压即为基准电压，是恒转矩调速区的最高电压。在基频以下调速时，电压会随频率变化，但两者的比值不变。

在基频以上调速时，频率从基频向上可以调至上限频率值，但是由于电动机定子电压不能超过电动机额定电压，因此，电压不再随频率变化，而保持基准电压值不变。这时电动机主磁通必须随频率升高而减弱，转矩相应减小，功率基本保持不变，属于恒功率调速区。由图5-12可见，基准频率为恒功率调速区的最低频率，是恒转矩调速区与恒功率调速区的转折点，而基准电压值在整个恒功率调速区内不再

随频率变化而改变。

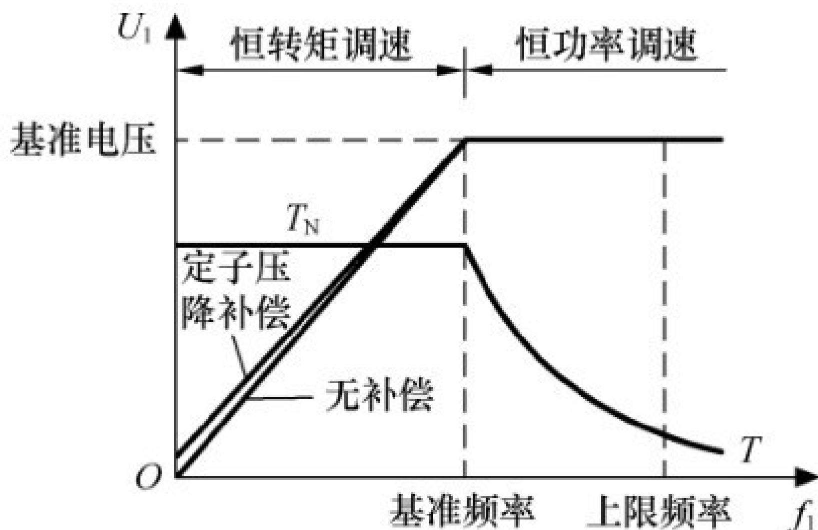


图5-11 基准电压、基准频率与变频调速控制特性

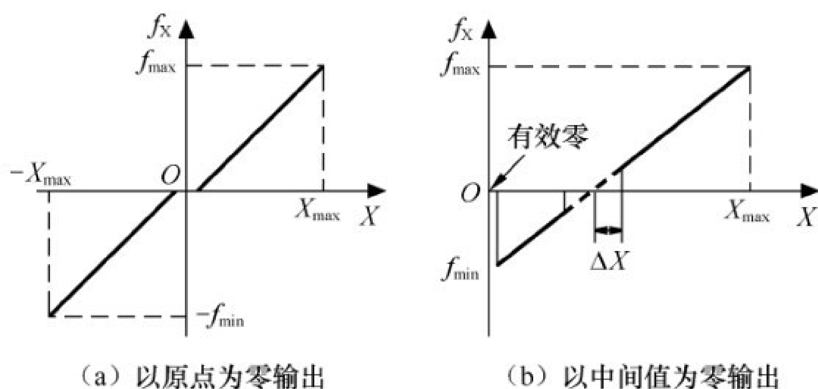


图5-12 模拟量给定的正、反转控制

负载基本上可分为恒转矩负载、恒功率负载以及平方转矩负载3类。恒转矩负载所需的转矩基本上不受速度变化的影响（T为定值）。对于该类负载，变频器的整个工作区最好运行在基频以下，这时变频器的输出特性正好能满足负载的要求。

恒功率负载在转速越高时所需的转矩越小（T × N为定值）。对

于恒功率负载来说，电动机的工作频率若在基频以上，其所要求的机械特性将与变频器的输出特性相吻合。

平方转矩负载所要求的转矩与转速的平方成正比（T/N^2 为定值），电动机运行在基频以下较为合理。需要注意的是，平方转矩负载的工作频率绝不能超过工频（除非变频器的容量大一个等级）。否则变频器与电动机将严重过载。

5.1.4 变频器的启停与加减速过程

1．启动方式

变频调速系统的电动机从较低转速升至较高转速的过程称为电动机的加速过程，电动机加速过程的极限状态是电动机的启动。变频器的控制命令包括控制电动机的启动、停止以及电动机的运行方向。

① 启动、停止。当变频调速系统准备就绪后（通电），变频器处于待机状态，电动机并没有运行。要使系统运行，需给变频器一个启动命令。变频器有3种启动方式：操作面板、外部端子（既可以是固定电平也可是脉冲信号）和通信方式。可以根据实际情况选择其中的任一种方式。按正常方式启动后，变频器开环运行于设置频率，或闭环运行于被控量的期望值。变频器停止时的情况和启动时完全一样，只不过动作相反。

② 电动机的运行方向。交流电动机是通过改变其输入三相电源任意两相的相序来改变其旋转方向的，在变频时只需给它一个电平信号自动调整三相电源任意两相的相序，即可改变电动机的旋转方向。采用模拟量给定的正、反转控制方式主要有以下两种。

- 由双极性给定信号控制，给定信号可“负”可“正”，正信号控制电动机正转，负信号控制电动机反转，如图5-12（a）所示。
- 由单极性给定信号控制，给定信号只有“正”值，由给定信号中间值作为电动机正转和反转的分界点，如图5-12（b）所示。

（1）工频启动

电动机工频启动是指电动机直接采用工频电源启动，也叫直接启

动或全压启动。在电动机接通电源的瞬间，电源频率为额定频率（50Hz），如图5-13（a）所示；电源电压为额定电压（380V），如图5-13（b）所示。由于电动机转子绕组与旋转磁场的相对速度很高，电动机转子电动势和电流都很大，定子电流也很大，一般可达电动机额定电流的4～7倍，如图5-13（c）所示。电动机工频启动存在的主要问题如下。

① 启动电流大。当电动机的容量较大时，其启动电流将对电网产生干扰，引起电网电压波动。

② 对生产机械设备的冲击很大，影响机械设备的使用寿命。

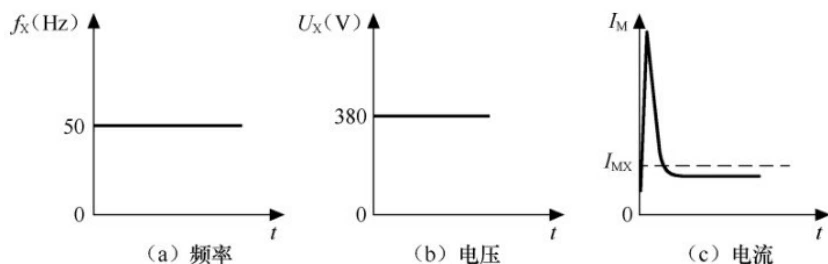


图5-13 工频启动

（2）变频启动

电动机采用变频启动时，电动机电源的频率从最低频率（通常是0Hz）按预置的加速时间逐渐上升，如图 5-14（a）所示。以 4 极电动机为例，假设在接通电源瞬间将启动频率降至0.5Hz，则同步转速只有15r/min，转子绕组与旋转磁场的相对速度只有工频启动时的1%。电动机的输入电压也从最低电压开始逐渐上升，如图5-14（b）所示。

电动机转子绕组与旋转磁场的相对速度很低，故启动瞬间的冲击电流很小。因电动机电源的频率逐渐升高，电压开始逐渐上升，如在整个启动过程中将同步转速n_0 与转子转速n_M 间的转差□n限制在一定范围内，则启动电流也将限制在一定范围内，如图5-14（c）所示。减小了启动过程中的动态转矩，加速过程将能保持平稳，从而减小了对生产机械的冲击。

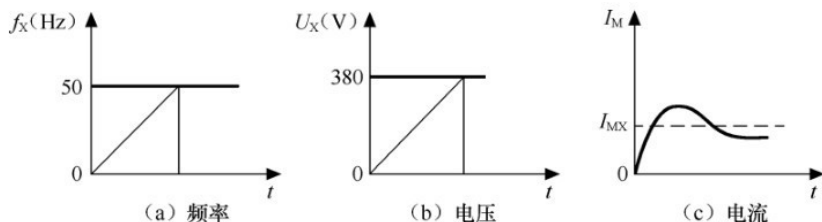


图5-14 变频启动

2．启动频率

电动机开始启动时并不从变频器输出为零开始加速，而是直接从某一频率下开始加速。在电动机开始加速瞬间，变频器的输出频率便是启动频率。启动频率是指变频器开始有电压输出时所对应的频率。在变频器启动过程中，当变频器的输出频率还没达到启动频率设置值时，变频器就不会输出电压。通常，为确保电动机的启动转矩，可通过设置合适的启动频率来实现。变频调速系统设置启动频率是为了满足部分生产机械设备实际工作的需要，有些生产机械设备在静止状态下的静摩擦力较大，电动机难以从变频器输出为零开始启动，而在设置的启动频率下启动时，电动机在启动瞬间有一定的冲力，使其拖动的生产机械设备较易启动起来。系统设置了启动频率，电动机可以在启动时很快建立起足够的磁通，使转子与定子间保持一定的气隙等。

启动频率的设置是为确保由变频器驱动的电动机在启动时有足够的启动转矩，避免电动机无法启动或在启动过程中过电流跳闸。在一般情况下，启动频率要根据变频器所驱动负载的特性及大小进行设置，在变频器过载能力允许的范围内既要避开低频欠励磁区域，保证足够的启动转矩，又不能将启动频率设置得太高，因为若启动频率设置得太高，在电动机启动时会造成较大的电流冲击甚至过电流跳闸。变频调速系统设置启动频率的方式如下。

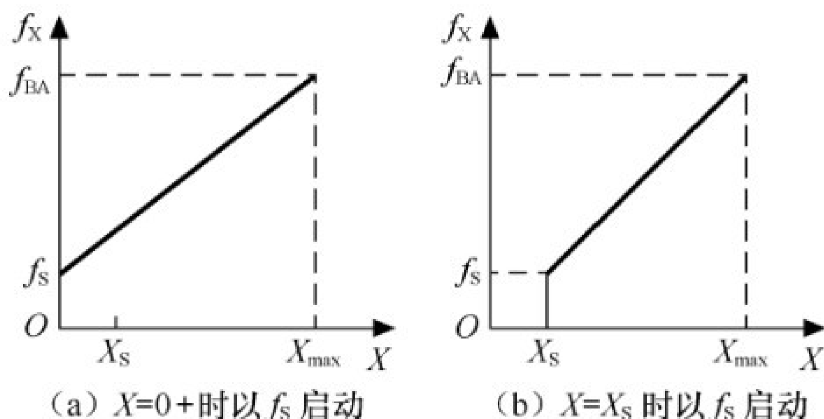


图5-15 启动频率

① 给定的信号略大于零（X ＝ 0+），此时变频器的输出频率即为启动频率f_S，如图5-15（a）所示。

② 设置一个死区区间X_S，在给定信号X小于设置的死区区间X_S时，变频器的输出频率为零；当给定信号X等于设置的死区区间X_S时，变频器输出与死区区间X_S对应的频率，如图5-15（b）所示。

启动频率的设置既要符合工艺要求，又要充分发挥变频器的潜力。在设置启动频率时要相应设置启动频率的保持时间，使电动机启动时的转速能够在启动频率的保持时间内达到一定的数值后再开始随变频器输出频率的升高而加速，这样可以避免电动机因加速过快而跳闸。在一般情况下只要能合理设置启动频率和启动频率保持时间这两个参数即可满足电动机的启动要求。

在实际调试过程中常常有这样的情况：在电动机启动困难或电动机在启动过程中过电流跳闸时，采取的措施是重新设置在低频段有更大转矩提升的转矩提升曲线，甚至是将变频器的允许过载能力调大，以解决电动机启动中存在的问题。这样电动机虽然能比较好地启动，但所选择的转矩提升曲线不能工作在相对最佳的状态，可能使电动机运行在过励磁状态，从而使电动机发热，无功损耗增加，功率因数降低；而调大变频器所允许的过载能力，则可能使变频器或电动机失去应有的保护。对于启动过程中存在的难启动或过电流跳闸的问题，应

通过合理设置启动频率来解决。

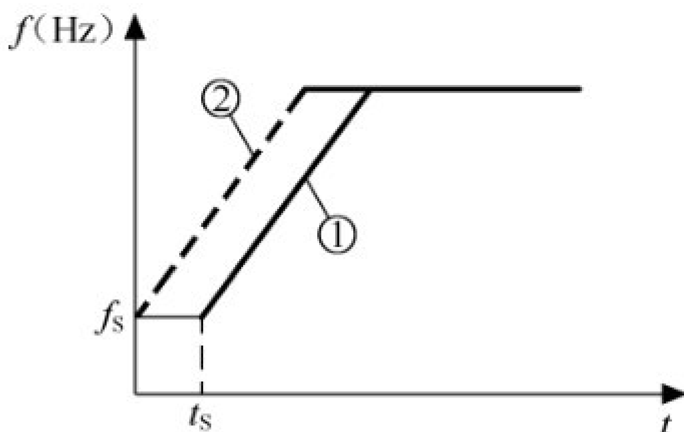


图5-16 不同启动要求的速度上升曲线

不同启动方式的速度上升曲线如图5-16所示，可根据实际启动要求选择。在图5-16中，曲线①适合于需要维持一段低速运转的启动场合，曲线②适合于需要有一定冲击的启动场合。对于大惯性负载，要求零速启动，例如风机有可能在启动的瞬间正在旋转，会有大的冲击启动电流存在，因此，先要直流制动。在设置启动程序时应注意这一点，否则有可能损坏变频器。在启动和停止过程中变频器电流可能偏大，甚至发生过电流保护，可延长升降速时间，但一般只要不过电流，升降速时间应尽量短以提高效率。

3．变频调速系统的加速过程

变频器的输出频率从f_{X1} 上升至f_{X2} 的加速过程如图5-17所示。当频率f_X 上升时，电动机定子旋转磁场的同步转速n_0 随即也上升，但电动机转子的转速n_M 因为有惯性而不能立即跟上，结果使转差Dn增大了，导体内的感应电动势和感应电流也增大。为此，在电动机的加速过程中，必须处理好加速的快慢与拖动系统惯性之间的矛盾。在生产过程中，变频调速系统的加速过程属于不进行生产的过渡过程。从提

高生产率的角度出发，加速过程应该越短越好。由于变频调速系统存在着惯性，如果加速过程太快，电动机转子的转速n_M 将跟不上电动机定子旋转磁场的同步转速的上升，转差△n增大，引起加速电流增大，若达到过电流限值，会使变频器跳闸。所以，在设置加速过程的参数时必须折中处理的问题是，在防止加速电流过大的前提下尽可能地缩短加速过程。

4．变频调速系统的减速过程

变频调速系统中电动机的转速从较高值降至较低值的过程称为减速过程。在变频调速系统中，电动机的减速过程是通过降低变频器的输出频率来实现的，电动机的转速从n_1 下降至n_2 即变频器的输出频率从f_{X1} 下降至f_{X2} 的减速过程，如图5-18所示。

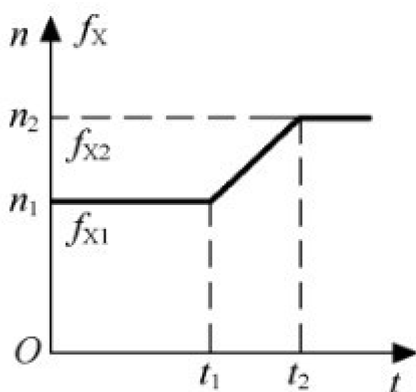


图5-17 加速过程

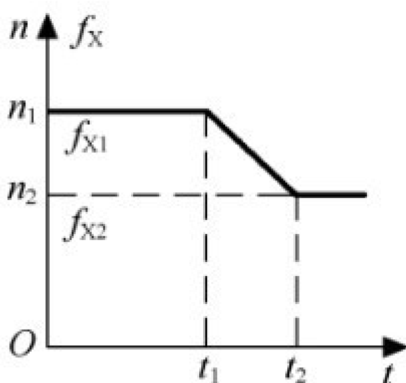


图5-18 减速过程

在频率刚下降的瞬间，旋转磁场的转速（同步转速）立即下降，但由于拖动系统具有惯性的缘故，电动机转子的转速不可能立即下降。此时，电动机转子的转速超过了同步转速，转子绕组切割磁场的方向和原来相反了。这时，转子绕组中感应电动势和感应电流的方向以及所产生的电磁转矩的方向都和原来的相反了，从而电动机处于发电机状态。由于所产生的转矩和转子旋转的方向相反，能够促使电动机的转速迅速降下来，该状态称为再生制动状态。

电动机在再生制动状态下发出的电能，将通过和逆变开关管反向并联的二极管全波整流后反馈到直流电路，使直流电路的电压U_D 升高，称为泵升电压。如果直流电压U_D 升得太高，将导致整流器和逆变器损坏。所以，当 U_D 上升到一定限值时，须通过能耗电路（制动电阻和制动单元）放电，把直流电路内多余的电能消耗掉。

变频调速系统的减速过程和加速过程相同，变频调速系统的减速过程也属于不进行生产的过渡过程，故减速过程应越短越好。由于变频调速系统存在着惯性，频率下降得太快了，电动机转子的转速n_M将跟不上电动机定子旋转磁场的同步转速的下降，转差△n增大，引起再生电流增大和直流电路内泵升电压升高，甚至可能超过设置的限值，导致变频器因过电流或过电压而跳闸。所以，在设置系统减速过程的参数时，必须在防止减速电流过大和直流电压过高的前提下尽可能地缩短减速过程。

5．电动机的停机方式

变频调速系统中的电动机可以设置的停机方式如下。

① 减速停机。按预置的减速时间和减速方式停机，在减速过程中，电动机处于再生制动状态。

② 自由制动。变频器通过停止输出来停机，此时电动机的电源被切断，拖动系统处于自由制动状态。由于停机时间的长短由拖动系统的惯性决定，故称为惯性停机。在惯性停机时应注意不应在电动机未真正停止时就启动，如要启动，应先制动，待电动机停稳后再启动。

这是因启动瞬间电动机转速（频率）与变频器输出频率的差距太大，会使变频器电流过大而损坏变频器中的功率管。

③ 减速加直流制动。首先按预置的减速时间减速，然后转为直流制动，直至停机。

④ 异常停机功能。当生产机械发生紧急情况时，将发出紧急停机信号。对此，有的变频器设置了专门用于处理异常情况的功能。在异常停机过程，变频器的操作信号都将无效。

6．加减速模式选择

加减速模式选择又叫加减速曲线选择。一般的变频器都具有线性、非线性和 S 3 种曲线，通常大多数都选择线性曲线。非线性曲线适用于变转矩负载，如风机等；S 曲线适用于恒转矩负载，其加减速变化较为缓慢。在选择加减速模式时可根据负载转矩特性选择相应曲线，如图5-19所示。在图5-19中，曲线①为线性升降曲线，适用于多数负载；曲线②为 S 形升降曲线，适用于电梯负载、起重机负载；曲线③为指数升降曲线，适用于风机负载、水泵负载。

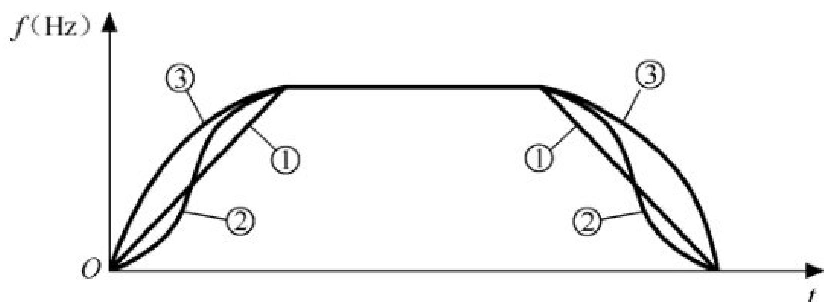


图5-19 不同负载配合的加降速曲线

（1）加速曲线

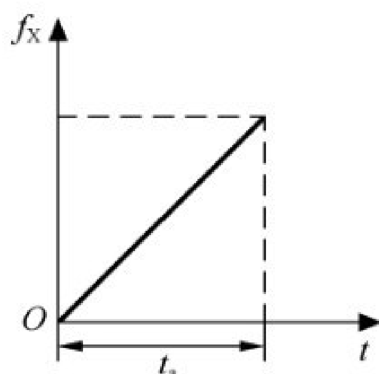
变频调速系统的电动机在加速过程中，变频器的输出频率随时间上升的关系曲线称为加速曲线。变频器设置的加速曲线如下。

① 线性曲线。变频器的输出频率随时间成正比地上升，如图5-20（a）所示。大多数负载都可以选用线性曲线。

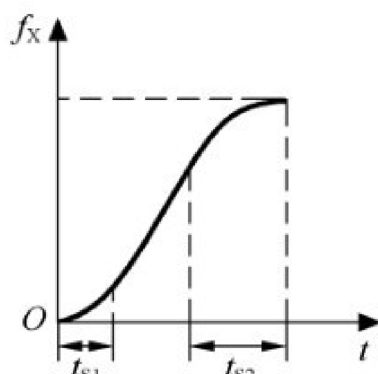
② S形曲线。在加速的起始和终了阶段，频率上升较缓，加速过

程呈S形，如图5-20（b）所示。例如，电梯在开始启动以及转入等速运行时，从考虑乘客的舒适度出发，应减缓速度的变化，以采用S形加速曲线为宜。

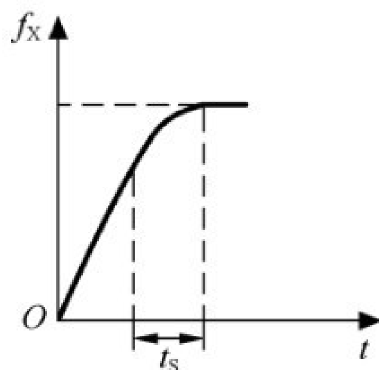
③ 半 S 形曲线。在加速的初始阶段或终了阶段，按线性曲线加速，而在终了阶段或初始阶段，按 S形曲线加速，如图 5-20（c）、（d）所示。图 5-20（c）所示方式主要适用于风机一类具有较大惯性的二次方律负载。由于低速时负荷较轻，故可按线性曲线加速，以缩短加速过程；高速时负荷较重，加速过程应减缓，以减小加速电流。图 5-20（d）所示曲线主要用于惯性较大的负载。



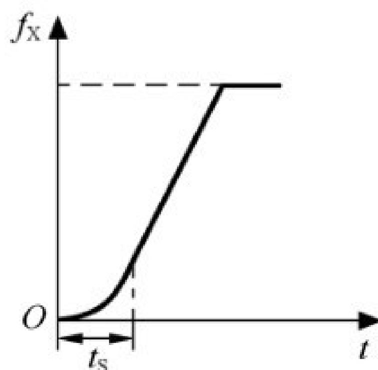
（a）线性方式



（b）S 形方式



（c）半 S 形方式 1



（d）半 S 形方式 2

图5-20 加速方式

（2）减速曲线

减速曲线和加速曲线类似，变频器的减速曲线也分为线性曲线、S形曲线和半 S形曲线。

① 线性曲线。变频器的输出频率随时间成正比地下降，如图5-21（a）所示。大多数负载都可以选用线性曲线。

② S形曲线。在减速的起始和终了阶段，频率下降较缓，减速过程呈S形，如图5-21（b）所示。

③ 半 S 形曲线。在减速的初始阶段或终了阶段，按线性方式减速，而在终了阶段或初始阶段，按S形曲线减速，如图5-21（c）、（d）所示。

减速时S形曲线和半S形曲线的应用场合和加速时相同。

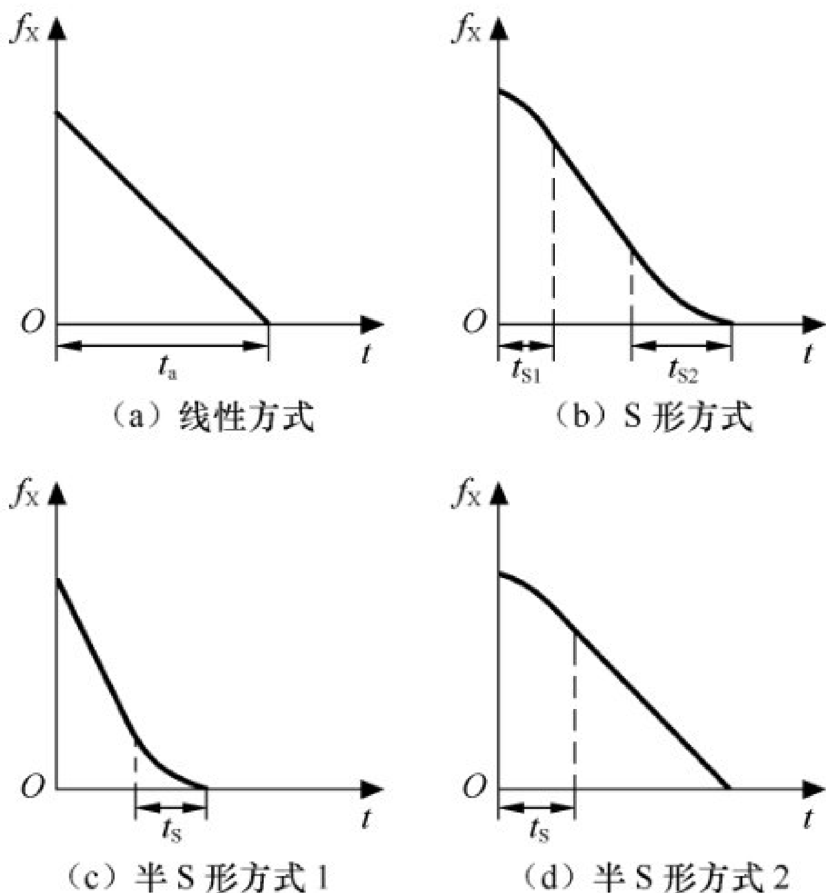


图5-21 减速方式

7．加、减速时间的设置

加速时间就是从变频器输出频率为零上升到最大频率所需的时间，加速时间的定义如图 5-22（a）所示。减速时间是指从变频器输出频率从最大值下降到零所需的时间，减速时间的定义如图 5-22（b）所示。在电动机加速时须限制频率的上升速率以防止加速过电流，减速时则限制频率的下降速率以防止减速过电压。

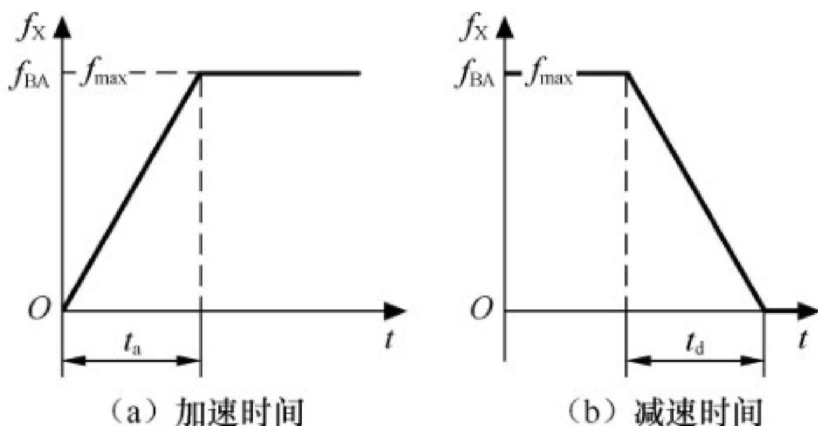


图5-22 加、减速时间的定义

电动机加速度dω/dt取决于加速转矩（T_t 、T_1 ），而变频器在启动、制动过程中的频率变化率则根据变频调速系统的要求设置。若电动机转动惯量J大或电动机负载变化率大，按预先设置加速时，有可能出现加速转矩不够的现象，从而造成电动机失速，即电动机转速与变频器输出频率不协调，造成变频器过电流或过电压。因此，需要根据电动机的转动惯量和实际负载合理设置加、减速时间，以使变频器的频率变化率能与电动机的转速变化率相协调。系统的加、减速时间不宜设置得太长，因为时间太长将影响生产效率，特别是变频调速系统频繁启动、制动时。

将加速电流限制在变频器过电流容量以下，不使因过电流失速而引起变频器跳闸。减速时间设置的要点是：防止平滑滤波电路的电压过高，不使因再生过电压而使变频器跳闸。加、减速时间可根据负载计算出来，但在调试中常按负载和经验首先设置较长的加、减速时间，通过启、停电动机观察有无过电流、过电压报警；然后将加、减速设置时间逐渐缩短，以运转中不发生报警为原则，重复操作几次，便可确定出最佳加、减速时间。不同变频器对加、减速时间的定义不完全一致，主要有以下两种。

① 变频器的输出频率从零上升到基本频率所需要的时间。

② 变频器的输出频率从零上升到最高频率所需要的时间。

在通常情况下，变频调速系统的最高频率和基本频率是一致的，在进行加速或减速时间预置时，应该考虑加速或减速过程不是在零频率与 f_{BA} 之间进行的。因此，每个程序步的实际加速或减速时间并不等于预置的加速或减速时间。实际加速所需时间的计算方法如下。

实际加速时间$\triangle t_1$ 为

$$\Delta t_1 = t_{A1} \cdot \frac{f_1}{f_{BA}} \quad (5\text{-}5)$$

实际加速时间$\triangle t_2$ 为

$$\Delta t_2 = t_{A21} \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_{BA}} \quad (5\text{-}6)$$

式中：t_{A1} 、t_{A21} 为预置的加速时间。

对于某些生产机械设备，出于生产工艺的需要，要求加、减速时间越短越好。对此，有的变频器设置了加、减速时间的最小极限功能，其基本含义如下。

① 最快加速方式。在加速过程中，使变频器输出电流保持在变频器允许的极限状态（$I_A \le 150\%I_N$ ，I_A 是加速电流，I_N 是变频器的额定电流）下，从而使加速过程最小化。

② 最快减速方式。在减速过程中，使变频器直流回路的电压保持在变频器允许的极限状态（$U_D \le 95\%U_{DH}$ ，U_D 是减速过程中的直流电压，U_{DH} 是直流电压的上限值）下，从而使减速过程最小化。

③ 最优加速方式。在加速过程中，使变频器输出电流保持在变频器额定电流的 120% （$I_A \le 120\%I_N$ ），使加速过程最优化。

④ 最优减速方式。在减速过程中，使变频器直流回路的电压保持在直流电压上限值的93%（$U_D \le 93\%U_{DH}$ ），使减速过程最优化。

8．转矩限制功能

转矩限制是根据变频器输出电压和电流值，经微处理器进行转矩计算获得的，能明显改善冲击负载在加、减速和恒速运行时的恢复特

性。转矩限制功能可实现自动加速和减速控制。若设置的加、减速时间小于负载惯量时间，也能保证电动机按照转矩设置值自动加速和减速。转矩限制分为以下两种。

① 驱动转矩。变频器的驱动转矩功能可提供强大的启动转矩，在稳态运转时，转矩功能控制电动机的转差，而将电动机的转矩限制在最大设置值内；当负载转矩突然增大或加速时间设置得过短时，也不会引起变频器过电流跳闸；在加速时间设置得过短时，电动机的转矩也不会超过最大设置值。驱动转矩应设置在80%～100%范围内。

② 制动转矩。变频器制动转矩设置数值越小，其制动力越大，适合急减速的场合。如制动转矩设置得过大，会使变频器出现过电压报警现象。如制动转矩设置为 0%，可使回馈在主电容器中的再生能量接近于零，从而使电动机在减速时不使用制动电阻也能减速至停止而不会过电压跳闸。但在有的负载上，如制动转矩设置为零时，减速时会出现短暂空转现象，造成变频器反复启动，电流大幅度波动，严重时会使变频器跳闸。

9．暂停加速功能

暂停加速功能是指在电动机启动后，先在较低频率 f_{DR} 下运行一段较短时间，然后再继续加速的功能。在下列情况下，应考虑为变频调速系统预置暂停加速功能。

① 惯性较大的负载，启动后先在较低频率下持续运行一段时间 t_{DR} ，然后再加速。

② 采用齿轮箱传动的变频调速系统，由于齿轮箱的齿轮之间总是存在间隙，启动时容易发生齿间的撞击，如在较低频率下持续运行一段时间t_{DR} ，可以减轻齿间的撞击。

③ 起重机械在起吊重物前，吊钩的钢丝绳通常处于松弛状态，预置了暂停加速功能后，电动机启动后先在较低频率下持续运行一段时间t_{DR} ，可使钢丝绳拉紧后再上升。

④ 对于有些机械在环境温度较低的情况下，润滑油容易凝固，故要求先在低速下运行一段时间t_{DR} ，使润滑油稀释后再加速。

⑤ 对于附有机械制动装置的电磁制动电动机，在电磁抱闸松开过

程中，为了减小闸皮和闸辊之间的摩擦，要求电动机启动后先在较低频率下持续运行一段时间t_{DR}，待电磁抱闸完全松开后再升速等。

变频器设置暂停加速的方式主要有以下两种。

① 变频器输出频率从零开始上升至暂停频率f_{DR}，停留t_{DR} 后再加速，如图5-23（a）所示。

② 变频器直接输出启动频率f_S 后暂停加速，停留t_{DR} 后再加速，如图5-23（b）所示。

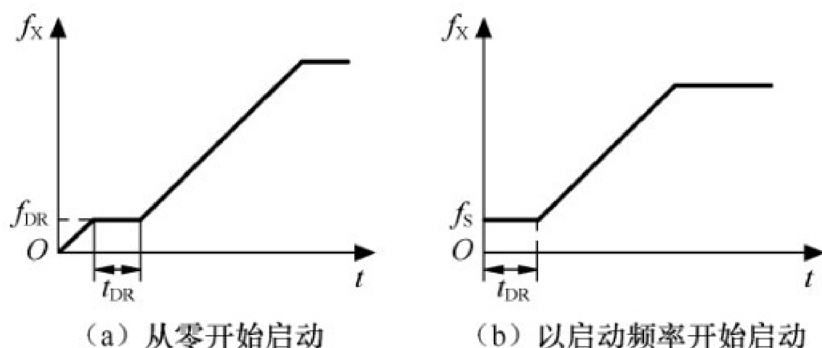


图5-23 低频持续时间

10．暂停减速功能

暂停减速功是指在低频状态下，当频率下降到接近于零时，电动机在较低频率下持续运行一段时间，然后使变频器输出频率下降为零。在下列情况下，应考虑为变频调速系统预置暂停减速功能。

① 惯性大的负载从高速直接减速至零时，为了避免因停不住而出现滑行现象，使电动机首先在较低频率下运行一段时间，然后使电动机的转速从低速降为零。

② 对于需要准确停车的场合（如卷扬机），为了准确停车，使电动机先在较低频率下运行一段时间至爬行后，再使电动机的转速从低速降为零，即可达到准确停车的目的。

③ 对于附有机械制动装置的电磁制动电动机，在电磁抱闸抱紧前使电动机先在较低频率下短时运行，可减小电磁抱闸的磨损等。

设置暂停减速的方式和暂停加速相同，需要预置的参数有暂停减

速的频率f_{DD} 和停留时间t_{DD} 。

5.1.5 变频器多功能端子的应用

1．变频器的多功能端子

在变频器的输入信号控制端中，可以任选两个端子，经过功能预置，作为升速和降速端子，如图5-24中的输入端X1和输入端X2。以森兰SB61系列变频器为例，通过功能预置，可使“X1”作为升速端子，“X2”作为降速端子，它们的具体功能如下。

“X1-CM”接通（ON）时频率上升，断开时为频率保持。

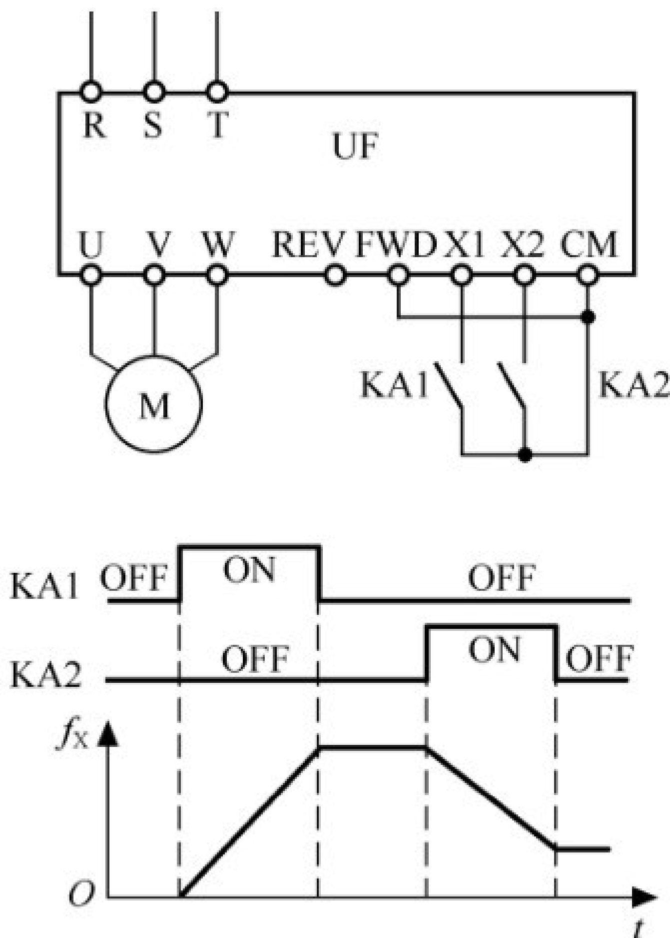


图5-24 变频器的升、降速端子

“X2-CM”接通（ON）时频率下降，断开时为频率保持。

利用这两个升、降速控制端，可以在远程控制中通过按钮开关进行升、降速控制，还可以灵活地应用在各种自动控制的场合。

2．利用多功能端子的给定方式

在变频器的外接给定方式中，通常使用电位器来进行频率给定，如图5-25（a）所示。但电位器给定有许多缺点，具体如下。

① 电位器给定实质上是电压给定方式之一，属于模拟量给定，其给定精度较差。

② 电位器的滑动触点与碳膜（或金属膜）之间容易因磨损而接触不良，导致给定信号不稳定，甚至发生频率跳动等现象。

③ 由于给定电源的电压较低，因此，当操作位置与变频器之间的距离较远时，线路上的电压降将进一步影响频率的给定精度，同时也较容易受到其他设备的干扰。

利用多功能端子进行频率给定时，只需接入两个按钮开关即可，如图 5-25（b）所示。利用多功能端子进行频率给定的优点如下。

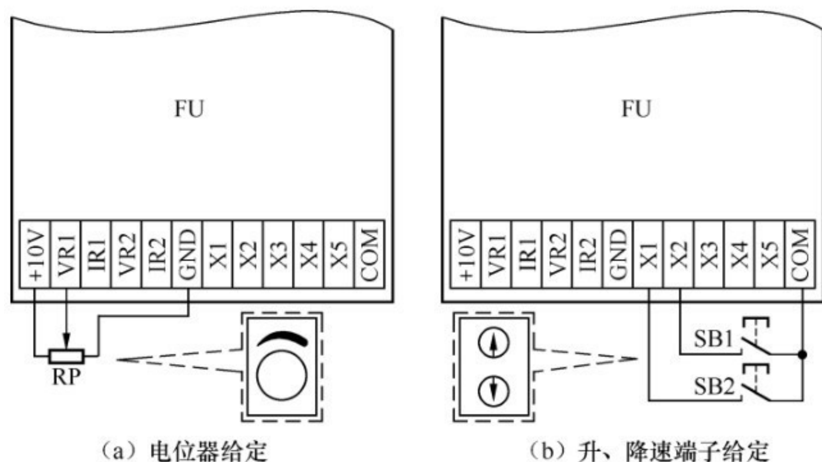


图5-25 电位器给定与升、降速端子给定

① 多功能端子给定属于数字量给定，精度较高。

② 用按钮开关来调节频率，操作简便，且不易损坏。

③ 因为是开关量控制，故不受线路电压降的影响，抗干扰性能极好。因此，在变频器进行外接给定时，应尽量少用电位器给定，而采用多功能端子给定。

3．利用多功能端子的多处控制方式

在实际生产中，常常需要在两个或多个地点都能对同一台电动机进行升、降速控制。在大多数情况下，这是通过外接控制信号来实现的。如图5-26所示，SB1和SB2是一组升速和降速按钮，安装在控制盒CA内，由FA显示运行频率；SB3和SB4是另一组升速和降速按钮，安装在另一个控制盒CB内，由FB显示运行频率。控制盒CA和CB分别放置在两个不同的地方。

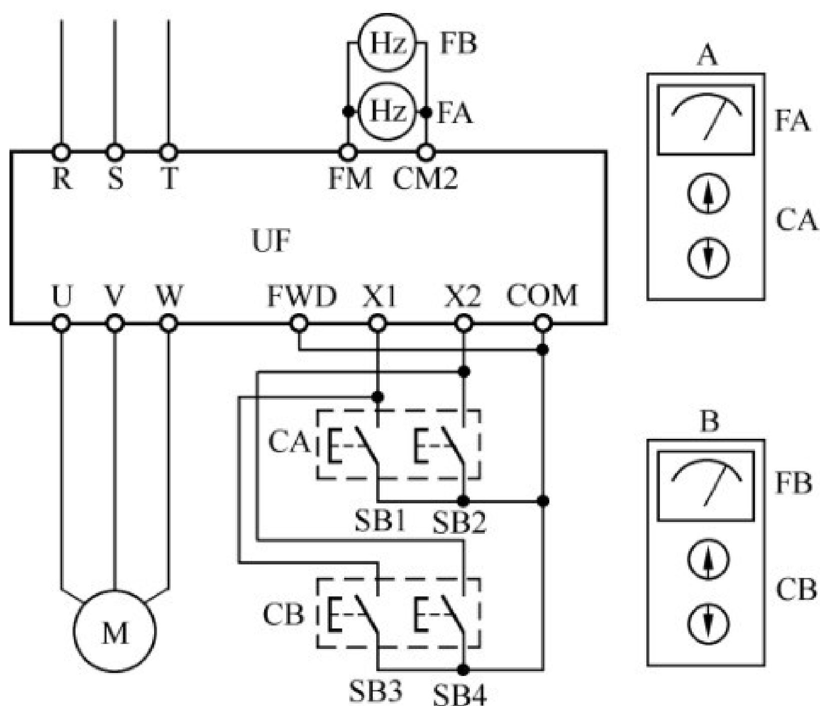


图5-26 两地升、降速控制

SB1与SB3并联，接在X1和COM端子之间，用于控制升速；SB2

与SB4并联，接在X2和COM端子之间，用于控制降速，其工作方式如下。

按下控制盒CA上的SB1或控制盒CB上的SB3，都能使频率上升，松开后频率保持；反之，按下控制盒CA上的SB2或控制盒CB上的SB4，都能使频率下降，松开后频率保持。这样就实现了在不同的地点进行升速或降速控制。

5.1.6 变频器的转矩提升功能

转矩提升又叫转矩补偿，是为补偿电动机定子绕组电阻所引起的低速时转矩降低，而把低频率范围内U/F增大的方法。变频器将电动机在一定时间内从静止状态驱动到一定的运转速度，需要克服机械装置的静态转矩阻力和运行加速度转矩阻力。由于在低速时电动机励磁电压降低，为此，需要补偿电动机的欠励磁状态，使电动机低速运行时的转矩增大（U/F特性增强，也即U/F在低频段的斜率增大），以此来克服这两种转矩阻力。

普通电动机采用的冷轧硅钢片铁芯的导磁系数不是很高且不是常数，正常情况下铁芯工作在其磁化曲线的附点以上至膝点附近的一段区域内。在这段区域内导磁系数最高，在工频电源下能满足电动机正常运行的要求。电动机采用变频器供电运行时，在低频区域电动机电流很小（有时比电动机在工频下的空载电流还要低），使得这种冷轧硅钢片铁芯工作在磁化曲线的附点以下，在这一段区域内铁芯的导磁系数相对较小。电动机绕组中电流产生的磁通在定子铁芯和转子铁芯中闭合的数量会相对减少，表现为对铁芯的磁化力不足，导致电动机的电磁转矩严重下降，实际运行时可能因电磁转矩不够或负载转矩相对较大而无法启动或在低频段不能正常运行。因此，各种各样的变频器中均设置有相应的转矩提升功能，为不同的负载提供不同的转矩特性曲线。如富士5000G11S/P11S系列变频器就提供了38条不同状态下的转矩提升曲线。在变频器调试时选择不同的转矩提升曲线可以实现对不同负载在低频段的补偿。

转矩提升功能用于改善变频器启动时的低速性能，使电动机输出的转矩能满足生产机械启动的要求。在异步电动机变频调速系统中转矩的控制较为复杂，在低频段，由于电动机电阻、漏电抗的影响不容忽略，若仍保持U/F为常数，磁通将减小，进而减小了电动机的输出转矩。为此，在低频段要对电压进行适当补偿以提升转矩。可是，电动机漏阻抗的影响不仅与频率有关，还和电动机电流的大小有关，准确补偿是很困难的。近年来国外开发了一些能自行补偿的变频器，但所需计算量大，硬件、软件都较复杂。

变频器转矩提升曲线在调试时应按电动机运行状态下的负载特性曲线进行选择，泵类负载、恒功率负载、恒转矩负载应在各自相应的转矩提升曲线中选择。由于普通电动机的低频特性不好，如果工艺流程不需要在较低频状态下运行，应按工艺流程要求设置最低运行频率，避免电动机在较低频状态下运行。如果工艺流程需要电动机在较低频段运行，则应根据电动机的实际负载特性认真选择合适的转矩提升曲线。

选择转矩提升曲线是否合适，可以通过在调试中测量其电压、电流、频率、功率因数等参数来确定。在调试中应在整个调速范围内测定初步选定的的几条相近的转矩提升曲线下的各参数数值，首先看是否有超差，然后对比确定较理想的数值。对转矩提升曲线下某一频率运行点来说，电压提升不高（欠补偿）或电压提升过高（过补偿）都会使电流增大。必须通过反复比较分析各种测定数据，才能找出真正符合工艺要求、使变频器驱动的电动机能安全运行、功率因数又相对较高的转矩提升曲线。

在通用变频器组成的调速系统中，经常遇到因转矩提升功能设置不当而造成启动失败的问题。不同品牌变频器转矩提升功能的含义有所不同：如富士产品定义了转矩提升1和转矩提升2，美国 A-B 公司的产品则定义了直流升压、启动升压、运行升压、运行加速升压。在转矩提升功能中，有许多提升模式供用户选择，同一厂家不同系列产品的出厂设置有所不同，在系统调试时若忽视了该参数的设置修改，当负载启动转矩较大时，将导致过电流跳闸，造成启动失败。

转矩提升设置为自动时，可使加速时的电压自动提升以补偿启动转矩，使电动机加速顺利进行。如采用手动补偿时，根据负载特性，尤其是负载的启动特性，通过试验可选出较佳曲线。对于变转矩负载（风机、泵类负载），如转矩提升参数设置不当，会出现低速时的输出电压过高，电动机带负载启动时电流大，而转速上不去的现象。需要指出，转矩补偿值较大时，容易导致低速时电动机处于过励磁状态，按这种状态连续运行时，电动机可能会发生快速发热现象，危害电动机的安全运行。同时，转矩补偿值过大时，也容易产生启动阶段过电压甚至过电流故障。转矩补偿值的大小应该以满足电动机启动需求的最小值为宜。

5.1.7 变频器的直流制动功能

1．采取直流制动的必要性

有的负载要求能够迅速停机，但减速时间太短将引起电动机实际转速的下降跟不上频率的下降，产生较大的泵升电压，使直流回路的电压超过允许值。采用直流制动，能增大制动转矩，缩短停机时间，且不产生泵升电压。有的负载由于惯性较大，常常停不住，停机后有“爬行”现象，可能造成十分危险的后果。采用直流制动，可以实现快速停机，并消除爬行现象。

直流制动就是向电动机定子绕组内通入直流电流，使异步电动机处于能耗制动状态。如图5-27（a）所示，由于定子绕组内通入的是直流电流，故定子磁场的转速为零。这时，转子绕组切割磁力线后产生的电磁转矩与转子的旋转方向相反，是制动转矩。因为转子绕组切割磁力线的速度较大，故所产生的制动转矩比较大，从而可缩短停机时间。此外，停止后定子的直流磁场对转子铁芯还有一定的“吸住”作用，以克服机械的“爬行”。采用直流制动时，需预置以下功能。

① 直流制动的起始频率f_{DB}。在大多数情况下，直流制动都是和再生制动配合使用的。首先用再生制动方式将电动机的转速降至较低转速，然后再转换成直流制动，使电动机迅速停住。其转换时对应的

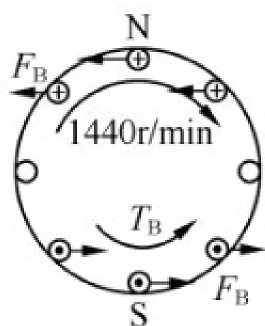
频率即为直流制动的起始频率f_{DB}，如图5-27（b）所示。预置起始频率f_{DB}的主要依据是负载对制动时间的要求，要求制动时间越短，则起始频率f_{DB}应越高。

② 直流制动强度。在定子绕组上施加的直流电压U_{DB}或直流电流I_{DB}的大小称为直流制动强度，它决定了直流制动的强度。如图5-27（b）所示，预置直流制动电压U_{DB}（或制动电流I_{DB}）的主要依据是负载惯性的大小，惯性越大，U_{DB}也应越大。

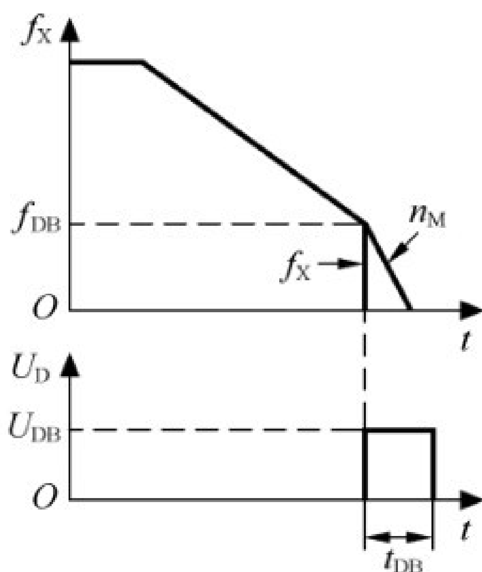
③ 直流制动时间t_{DB}。t_{DB}为施加直流制动的时间。预置直流制动时间t_{DB}的主要依据是负载是否有“爬行”现象，以及对克服“爬行”的要求，要求较高者，t_{DB}应适当长一些。

2．启动前的直流制动功能

启动前先在电动机的定子绕组内通入直流电流，以保证电动机在零速状态下开始启动。如果在电动机启动前，拖动系统的转速不为零（$n_M = 0$），而变频器的输出频率从零开始上升，则在启动瞬间，电动机处于强烈的再生制动状态（启动前为正转时）或处于反接制动状态（启动前为反转时），有可能引起过电流或过电压。例如，风机在停机状态下，由于有自然风的原因，叶片常自行转动，且往往是反转的。又如电动机以自由制动方式停机时，如在尚未停住的状态下再次启动，如图 5-28（a）所示，容易引起电动机过电流。为此，可以在变频器启动前向电动机的定子绕组中短时间地通入直流电流，以保证拖动系统在零速下启动，称为启动前的直流制动。应用该功能须预置直流电压的大小和施加直流电压的时间，启动前直流制动功能的设置包括以下方面。

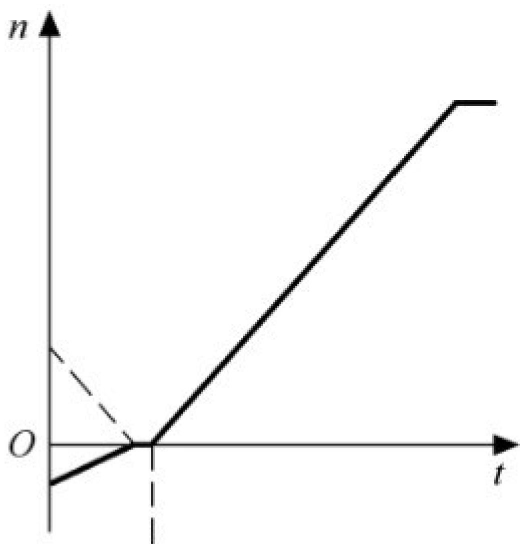


（a）直流制动原理



（b）直流制动的功能预置

图5-27 直流制动原理和功能预置



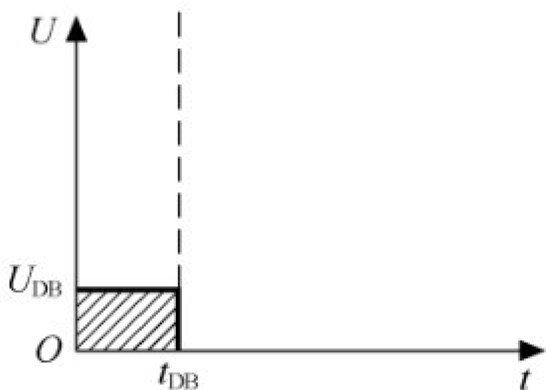


图5-28 启动前的直流制动

① 选择功能，即选择是否需要启动前的直流制动功能。

② 制动量，即应向定子绕组施加多大的直流电压U_{DB}，如图5-28（b）所示。

③ 直流制动时间，即进行直流制动（施加直流电压）的时间t_{DB}

，如图5-28（b）所示。

5.2 变频器参数设置实例

5.2.1 CX系列变频器在不同运行模式下的参数设置

富士公司的CX系列变频器的运行模式有多种，而且它的参数也非常多。要使变频器高效运行，必须根据实际情况和控制要求，选取一种合适的运行模式。富士公司的 FRN0.4～220G11S-4CX系列变频器根据信号是取自变频器外部还是自身，可分为以下3种模式。

① E模式：信号都取自变频器外部。

② PU 模式：信号都取自变频器本身。PU 模式的操作是通过变频器的面板进行的。用∧、∨键来设置频率，按FWD键时电动机正向旋转，按REV键时电动机反向旋转，按STOP键时减速停止。运行中用∧、∨键来改变频率，以达到改变速度的目的。这种方式在接线完毕通电试运行时是非常有效的，但在正常工作中并不实用，因为它的信号不能参与控制，是由变频器本身给定的。

③ PU＋E模式：信号既有变频器外部的，又有变频器本身的。在PU＋E模式中，如果启动信号是通过面板的FWD键、REV键和STOP键来给定，频率设置信号来自外部，这种模式在实际运行中也很少采用。若在正常工作中速度并不是频繁切换，可选择这种控制方式，启动信号由外部的开关接点或控制系统给出。按∧、∨键进行数字频率设置，设置一个合适的频率并存储起来，以后每次都以该速度运行，只有需要改变速度时，再按∧、∨键来提高或降低速度。在该种模式下，有两个参数是关键的：参数F01（即频率设置方式）设为0（即由面板的 FWD 键、REV 键设置），参数 F02（运行操作方式）设为1（即通过外部端子【FWD】、【REV】作为启动信号）。

变频器实际应用中常用的是E模式，在该种模式下，速度调节信号可以是电压也可以是电流，还可以是开关信号、数字输入信号或脉

冲列输入信号。

① 模拟电压信号由变频器的 12 号端子输入。电压可以是 0～+10V，还可以是－10～+10V。前者的参数F01设为1，后者设为4。此外，如果要求反动作，即+10V对应于低速， 0V对应于高速，F01需设为6。

② 模拟电流信号由变频器的C1号端子输入。电流信号为4～20mA。要求正动作时，参数F01设为2，反动作时设为7。

电压信号和电流信号可结合起来使用，模拟电压信号由 12 号端子输入，模拟电流信号由C1号端子输入，此时参数F01设为3。

③ 采用外部组合开关信号，变频器有 9 个接点输入端子可以用参数自由定义。参数E01、E02、E03、E04分别定义为0、1、2、3，就把接点输入端子X1、X2、X3、X4分配给开关信号SS1、SS2、SS4、SS8，它们共有16种组合。除去都为零的组合后还剩15种，这样可设15种速度与之对应。

④ 在变频器的11、12、13号端子间接入一个电位器，利用内部的DC 24V电源，便可以连续调节转速的高低，而且电位器可以装设到控制面板上，非常方便现场控制应用。

⑤ 利用面板上的∧、∨键可以方便快捷地改变频率，通过参数定义能够把这两个信号引到变频器的端子上。定义参数 E05 ＝ 17，E06 ＝ 18，这样就把接点输入端子 X5、X6 分配给增速命令（UP）、减速命令（DOWN）。当然，可以把X1～X9之间的任何一个端子定义为UP或DOWN。然后再把参数F01设为8（增减速模式1）或9（增减速模式2），通过点动按下接在X5、X6上的按钮来控制电动机升降速。

对于以上E模式下的各种控制方式，控制信号都是微弱的模拟信号，很容易受到外部干扰，而变频器本身又是一个大的噪声源，加强抗干扰措施是非常必要的，在应用中应采用以下几项措施。

① 控制线尽可能短，并使用屏蔽线，注意良好接地。

② 使用处理微弱信号的双生接点。

③ 在模拟信号设备侧连接电容器和铁氧体磁芯。

5.2.2 ACS800系列变频器的参数设置

ACS800系列高性能变频器采用先进的DTC控制技术，内置直流电抗器，降低进线电源的高次谐波含量，最大启动转矩可达电动机额定转矩的200%；ACS800的动态转速误差在闭环时为0.05%，静态精度为0.01%。动态转矩的阶跃响应时间在闭环时达到1～5ms，可较理想地满足高性能传动系统的需要。

当第一次给ACS800变频器上电时，启动向导便会按最佳调试步骤引导调试人员完成整个调试过程。为了保证调试的准确快速性，调试时启动向导会以问答的方式提醒用户输入必要的数据，例如电动机的额定参数、I/O 端口配置以及电动机加、减速时间等。每完成一步设置后，变频器便会等待下一步操作。

1．启动数据

变频器启动数据是设置系统信息的一组参数，只需在第一次运行时设置，以后就不需要再改变了。ACS800系列变频器的这一组参数代码如下。

① 电动机信息。ACS800系列变频器的电动机信息包括电动机额定电压（99.05）、额定电流（99.06）、额定频率（99.07）、额定速度（99.08）、额定功率（99.09）。这些参数是从电动机的铭牌数据中得到的。例如一台四极三相异步电动机，P_n = 30kW，I_n = 59A， n_N ＝1450r/min，f_N ＝50Hz，U_N ＝380V，设置参数时：99.05＝380，99.06＝59.0，99.07＝50.0， 99.08 ＝ 1450，99.09 ＝ 30.0。根据电动机的铭牌将参数设置好后，即可作电动机的辨识运行。

② 控制模式（99.04）。ACS800系列变频器的核心技术就是直接转矩控制（DTC）。在直接转矩控制模式下，系统中给定信号为转矩。采用直接转矩控制模式在没有反馈的情况下，也可对电动机进行精确的速度及转矩控制。

③ 应用宏的选择（99.02）。应用宏是根据变频器在一些常用的场合中所需的一些功能在出厂时已经经过预编程的参数集。ACS800

系列变频器的应用宏有：工厂宏、手动/自动宏、PID 控制宏、顺序控制宏、转矩控制宏。应用中可根据需要选择应用宏。例如，在利用变频器构成的压力或流量控制系统中，就可以用PID控制宏实现闭环控制。

2．控制参数

控制参数主要规定了变频器的启动方式，包括启动、停机、方向命令的信号源。在外部控制时，变频器的启动和停止应使用外部端子或通信的方式，而ACS800变频器用外部端子又有多种组合，可以将DI1～DI6 中的任何一个作为启动、停止命令的输入端，启动变频器允许信号的参数必须设为YES。

关于变频器所拖动电动机的旋转方向，在双向运行的场合可把这个参数设为REQUEST，由数字输入端子来控制电动机的旋转方向。

3．给定方式的选择

ABB800有EXT1和EXT2两种给定方式可供选择，当选择EXT1时，变频器的启动由10.01所指定的输入端子控制，频率由11.03所指定的方式给定。若选用PID应用宏，则为开环控制，若选用转矩控制宏，则为速度控制。当选择EXT2时，变频器的启动及频率分别为10.02、11.06控制和给定，在PID应用宏及转矩控制宏下分别为闭环控制及转矩控制方式。

频率给定11.03、11.06的选择分别是EXT1、EXT2的给定，使用模拟给定时可以选择模拟输入端子AI1～AI3中的任何一个进行给定，AI1为DC 0～10V电压信号，AI2～AI3为0～20mA 电流信号。也可以选择通信或数字端子进行频率给定。在有些不需要改变变频器运行频率的场合，可以选用变频器的恒速功能。ABB800变频器有15种恒速可以供用户选择。

4．加、减速时间

在系统为大惯性负载时，变频器设置的加、减速时间应长一些。若加速时间过短，在电动机启动时变频器容易因过电流而跳闸；如减速时间过短，由于系统负载的惯性，电动机处于再生发电状态，电动机产生的再生能量易导致变频器发生过电压而跳闸。当系统为大惯性

负载时，若工艺条件允许，可采用自由停机方式（即将21.03设为COAST）。加速、减速参数的类型有线性曲线和S形曲线。通用传动系统中均可采用线性曲线，在电梯及复卷机传动系统中则采用S形曲线。

5．限幅参数

限幅参数主要用于规定电流转矩、最高运行频率等。在ABB800系列变频器中，最大输出电流能达到200%I_{hd}，在转矩控制模式下最大输出电流能达到300%I_{hd}。ABB800系列变频器的最高运行频率一般在出厂时设置为50Hz，可根据生产工艺设备的要求设置。若修改最高运行频率参数，变频器在运行频率大于50Hz时为恒功率调速。

6．闭环控制参数

ABB800 变频器有两种途径可实现闭环控制，即配编码器反馈卡的速度闭环控制和过程PID闭环控制。

（1）配编码器反馈卡的速度闭环控制

此时要设置的速度闭环控制参数如下。

① 50.01为编码器每转的脉冲数，这一参数根据所选编码器来确定，一般有360、500、1024、2048等规格。

② 50.02为编码器脉冲的计算方式，若不需正反转运行，可以设置为单A或B输入。

③ 23.01为速度控制器的增益。

④ 23.02为速度控制器的微分时间。

上述参数要根据具体的传动系统进行整定，使稳定的动态性能指标均能满足要求。

⑤ 98.01为脉冲编码器可选模块选择，应设为YES。

（2）过程PID闭环控制

在压力、流量等闭环控制系统中，往往把压力或流量通过传感器转换为电压或电流信号。这时就可以用过程PID控制方式，参数设置主要是整定PID参数。

① 40.01为PID控制器的增益。

② 40.02为PID控制器的积分时间。

③ 40.03为PID控制器的微分时间。

5.2.3 西门子变频器的参数设置

1．控制方式的选择

西门子变频器提供的控制方式有U/F控制、矢量控制、力矩控制。U/F控制中有线性U/F控制和抛物线特性U/F控制两种方式。将变频器的参数P1300设为0，变频器工作于线性U/F控制方式下，调速时的磁通与励磁电流基本不变，适用于工作转速不在低频段的一般恒转矩调速对象。

将P1300设为2，变频器工作于抛物线特性U/F控制方式下，这种方式适用于风机、水泵类负载。这类负载的轴功率近似地与转速n的3次方成正比，其转矩M近似地与转速n的平方成正比。对于这种负载，如果变频器的U/F特性是线性关系，则低速时电动机的转矩远大于负载转矩，从而造成功率因数和效率的严重下降。为了适应这种负载的需要，需使电压随着输出频率的减小以平方关系减小，从而减小电动机的磁通和励磁电流，使功率因数保持在适当的范围内。

通过设置参数使U/F控制曲线适合负载特性，为P1312在0～250之间设置合适的值，具有启动提升功能。将低频时的输出电压相对于线性U/F曲线作适当的提高，以补偿在低频时定子电阻引起的压降导致电动机转矩减小的问题。这种方式适用于大启动转矩的调速对象。

选用变频器U/F控制方式驱动电动机时，在某些频段，电动机的电流、转速会发生振荡，严重时系统无法运行，甚至在加速过程中出现过电流保护，使得电动机不能正常启动，在电动机轻载或转矩惯量较小时更为严重。可以根据系统出现振荡的频率点，在U/F曲线上设置跳转点及跳转频带宽度。当电动机加速时可以自动跳过这些频段，保证系统能够正常运行。从P1091到P1094可以设置4个不同的跳转点，通过设置P1101确定跳转频带宽度。

有些负载在特定的频率下需要电动机提供特定的转矩，用可编程的U/F控制方式对应设置变频器的参数，即可得到所需的控制曲线。

通过设置P1320、P1322、P1324确定可编程的U/F特性频率坐标，对应的P1321、P1323、P1325为可编程的U/F特性电压坐标。

将参数P1300设置为20，变频器工作于矢量控制方式下。这种控制方式相对完善，调速范围宽，低速范围启动转矩大，精度高达0.01%，响应很快，高精度调速系统都采用SVPWM矢量控制方式。

将参数P1300设置为22，变频器工作于矢量转矩控制方式下。这种控制方式是目前国际上最先进的控制方式，其他方式是模拟直流电动机的参数，通过保角变换进行调节控制。矢量转矩控制是直接取交流电动机参数进行控制，方法简单，精确度高。

2．快速调试

在使用变频器驱动电动机前，必须进行快速调试。参数P0010设为1，P3900设为1，变频器进行快速调试。快速调试完毕后，进行必要的电动机数据计算，并将其他所有的参数恢复到它们的默认设置值。在矢量或转矩控制方式下，为了正确地实现控制，非常重要的一点是必须正确地向变频器输入电动机的数据，而且电动机的自动检测参数P1910必须在电动机处于常温时进行设置。当使能这一功能（P1910 ＝ 1）时，会产生一个报警信号A0541，给予警告。在接着发出ON命令时，立即开始电动机参数的自动检测。

3．加、减速时间的调整

加速时间就是输出频率从零上升到最大频率所需的时间，减速时间是指从最大频率下降到零所需的时间。加速时间和减速时间选择得合理与否对电动机的启动、停止运行及调速系统的响应速度都有重大的影响。加速时间设置的约束是将电流限制在过电流范围内，不应使过电流保护装置动作。在电动机减速运转期间，变频器将处于再生发电制动状态。传动系统中所储存的机械能转换为电能并通过逆变器将电能回馈到直流侧。回馈的电能将导致中间回路的储能电容器两端电压上升。因此，减速时间设置的约束是防止直流回路电压过高。加、减速时间的计算公式如下。

加速时间为

$$t_a = (j_m + j_l)n/9.56(t_{ma} - t_l) \qquad (5\text{-}7)$$

减速时间为

$$t_b=(j_m+j_l)n/9.56(t_{mb}-t_l) \quad (5\text{-}8)$$

式中：j_m 为电动机的惯量；j_l 为负载惯量；n为额定转速；t_{ma} 为电动机的驱动转矩；t_{mb} 为电动机的制动转矩；t_l 为负载转矩。

加、减速时间可根据公式计算出来，也可用简易试验方法进行设置。首先使拖动系统以额定转速运行（工频运行），然后切断电源，使拖动系统处于自由制动状态，用秒表计算其转速从额定转速下降到零所需要的时间。加、减速时间可首先按自由制动时间的1/2～1/3进行预置。通过启、停电动机观察有无过电流、过电压报警，调整加、减速时间设置值，以运转中不发生报警为原则，重复操作几次，便可确定出最佳加、减速时间。

4．转动惯量的设置

电动机与负载转动惯量的设置往往被忽视，认为加、减速时间的正确设置可保证系统正常工作。其实，转动惯量设置不当会使系统发生振荡，调速精度也会受到影响。转动惯量的计算公式为

$$j=t/d\omega/dt \quad (5\text{-}9)$$

电动机与负载转动惯量的获得方法一样，选择变频器的工作频率为合适的值（5～10Hz）。分别让电动机空载和带载运行，读出参数R0333（额定转矩）和R0345（电动机的启动时间），再将变频器的工作频率换算成对应的角速度，计算出电动机与负载的转动惯量。设置参数P0341（电动机的惯量）与参数 P0342（驱动装置总惯量与电动机惯量的比值），这样变频器就能更好地调速运行。

5．制动参数的设置

在运行信号的控制下，变频器首先缓慢连续降频，达到f_{db} 后则开始直流制动，此时输出频率为零。在系统参数设置中系统降速时间t_z、直流制动起始频率f_{db}、制动电流I_{db} 和制动时间 t_{db} 的设置十分重要，直接关系到生产机械的准确定位和电动机的正常运行。现以西门子6SE21系列变频器为例，其制动参数的设置如下。

P372 ＝ 1：启用直流制动功能。

P373（I_{db}）：直流制动电流大小设置，该参数直接关系到制动

转矩的大小，系统惯性越大，其值应越大，可选范围为电动机额定电流的20%～400%，经验值为60%左右。

P374（t_{db}）：输入直流时间，该参数不宜过大，否则电动机将过热；但应比实际停机时间略长，否则电动机将进入自由滑行状态。可选范围为 0.1～99.9s，应结合实际情况反复调整，经验值为5.5s左右。

P375（f_{db}）：直流制动开始频率，该参数应尽可能小，必须在临界转速n_k 对应的频率以下，否则电动机将过热。经验值为10Hz左右。

P373、P374、P375选择不当，均会引起电动机过热，需在现场反复调整、测试。变频器的输出频率由正常工作时的f_X 降至f_{db} 的时间t_z 虽不在直流制动参数组中设置，但它的设置十分关键，如时间过短，电动机的工作点将转移至第二象限，发生再生制动，引起电动机过热。

5.2.4 iF系列变频器的运行及参数设置

1．按键功能及显示

（1）单相变频器的按键功能及显示

单相变频器的按键功能及显示面板如图5-29所示，按键名称及说明见表5-2。

见表5-3。

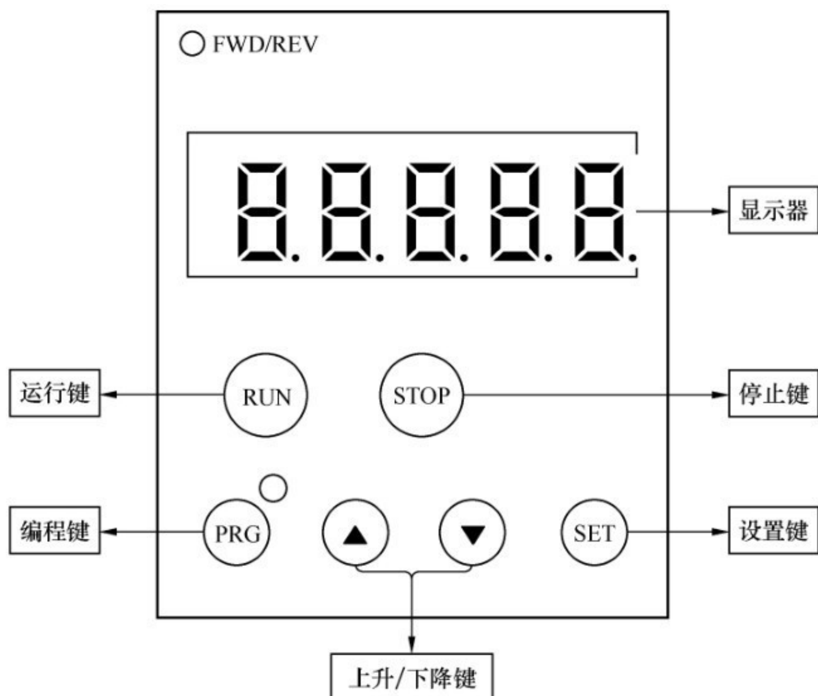


图5-29 单相变频器的按键功能及显示面板

表5-2 单相变频器的按键名称及说明

区分	显示	名称	说明
按键	PRG	编程键	数据设置模式开始/结束
	▲	上升键	用于增大参数代码或设置值
	▼	下降键	用于减小参数代码或设置值
	SET	设置键	在编程状态下用于读出或确认设置值，否则用于切换显示内容
	RUN	运行键	运行变频器
	STOP	停止/复位键	在运行中使变频器停止运行，发生故障时解除故障
LED	PRG	编程显示	编程指示灯，使用 PRG 键时点灯
	FWD/REV	运行方向显示	正向点绿灯，反向点红灯，停止时闪烁

（2）三相变频器的按键功能及显示

三相变频器按键功能及显示面板如图5-30所示，按键名称及说明见表5-3。

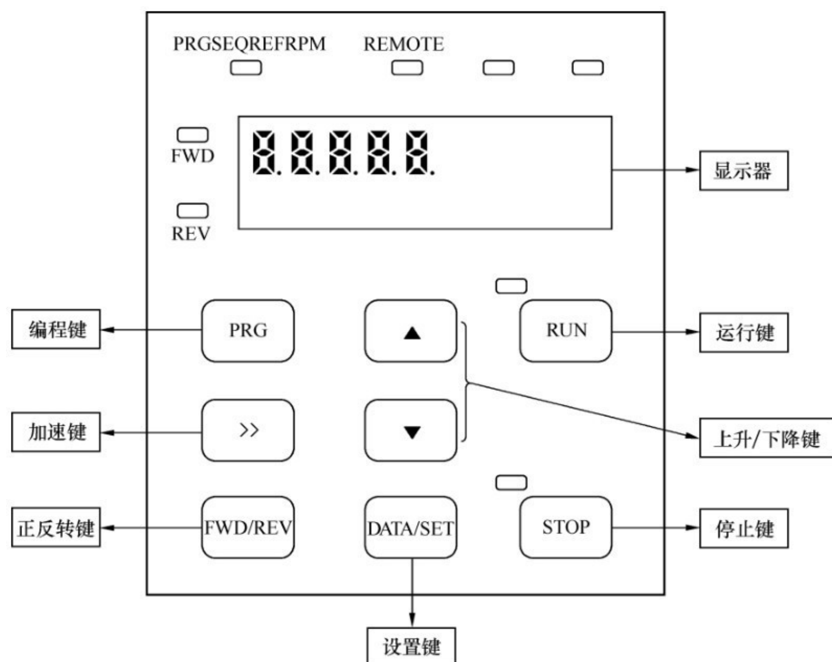


图5-30 三相变频器按键功能及显示面板

表5-3 三相变频器的按键名称及说明

区分	显示	名称	说明
按键	PRG	编程键	数据设置模式开始/结束
	>>	加速键	与上升或下降键组合，加快上升或下降的速度
	▲	上升键	用于增大参数代码或设置值
	▼	下降键	用于减小参数代码或设置值
	FWD/REV	正反转键	在正转、反转间切换

续表

区分	显　示	名　称	说　明
按键	DATA/SET	设置键	在编程状态下用于读出或确认设置值，否则用于切换显示内容
	RUN	运行键	运行变频器
	STOP	停止键	在运行中使变频器停止运行，发生故障时解除故障
LED	PRG	编程显示	编程指示灯，使用 PRG 键时点亮
	SEQ	操作命令显示	n_001≠0（键盘操作）时点亮
	REF	频率命令显示	n_000≠0（键盘设置）时点亮
	RPM	速度显示	变频器显示转速时点亮
	FWD	正向显示	正向运行时点亮
	REV	反向显示	反正向运行时点亮
	RUN	运行显示	变频器运行时点亮，待机时闪烁
	STOP	停止显示	变频器停止运行时点亮，停机等待过程中闪烁

2．基本参数的设置与变更

变频器内存中有很多参数，使用面板运行时，可以设置必要的参数或根据负荷和运行输入适当的值。

（1） n_000：频率命令。选择频率设置的方法。iF系列变频器频率设置代码及说明见表5-4。

表5-4 频率设置代码及说明

设置范围		描　述
功能内容	代　码	
键盘设置	0	由键盘操作控制频率
模拟给定 VI	1	输入频率设置（0～10V），关于信号尺度的变化请参阅 n_054～n_055
模拟给定 II	2	输入频率设置（4～20mA），关于信号尺度的变化请参阅 n_056～n_057
模拟给定 VI+II	3	输入频率设置（0～10V，4～20mA），V 信号覆盖 I 信号
串口	4	由 RS-485 通信端口设置
由端子递增、递减频率	5	由 S1～S6 给定频率信号

(2)　n_054～n_058：模拟输入。改变模拟输入信号（VI和II）的量值可设置所要求的频率值。模拟给定如图5-31所示。

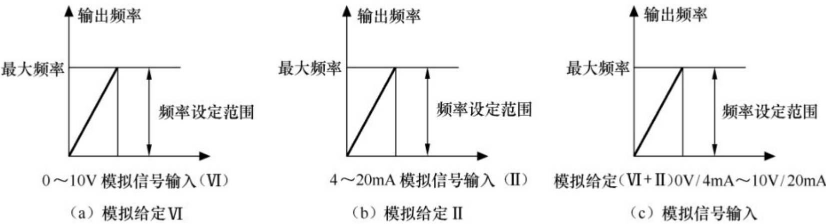


图5-31 模拟给定

(3) n_001：操作命令。变频器的操作方式及说明见表5-5。

表5-5 变频器的操作方式及说明

设置范围		描述
功能内容	代码	
键盘操作	0	操作过程由键盘完成
端子	1	由 S1～S6 端子操作
串口	2	由 RS-485 通信端口操作

(4) n_002：停止方式选择。变频器的停止方式及说明见表5-6。

表5-6 变频器的停止方式及说明

设置范围		描述
功能内容	代码	
减速停止	0	通过减速方式使变频器停止运行
自由运转停止	1	通过自由停止方式使变频器停止运行
按减速时间 1 定时自由运转停止	2	停止后，等待特定定时时间后，RUN 输入从无效到有效，系统才能投入运行
按减速时间 2 计时自由运转停止	3	停止后，等待特定定时时间（停机等待过程）后，RUN 输入有效时，自动投入运行

在n_002 ＝ 3时，停止后，STOP指示灯闪烁，表示在等待特定定时时间内的状态（停机等待过程），如图5-32所示。

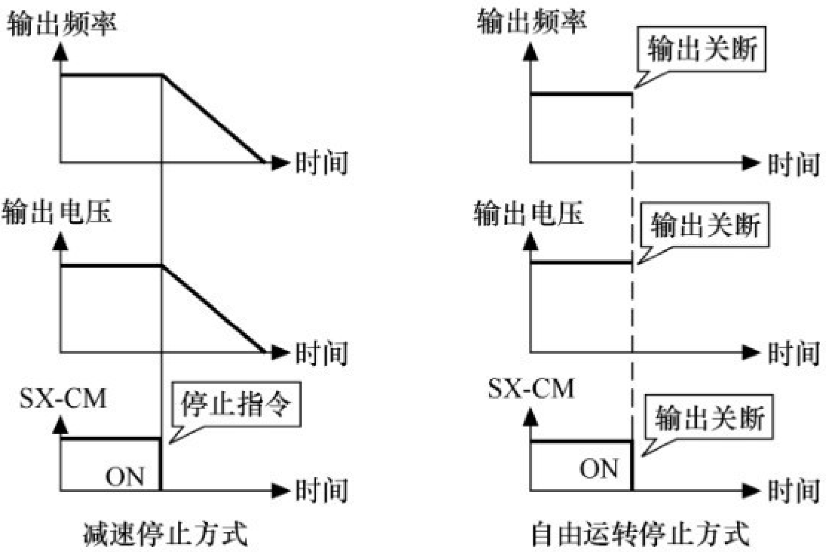


图5-32 停止方式

(5)n_003：反转禁止选择。n_003为0时可以反转，为1时禁止反转。

(6) n_004：基频频率，即变频器输出额定电压的频率。在使用50Hz电动机的情况下，设置成50Hz，设置范围为30.00～600.00Hz。

(7) n_005：最大频率，即变频器能够输出的最大频率。设置时最大频率不能超过电动机的额定转数，设置范围为30.00～600.00Hz。

(8) n_006：U/F模式。这是电压/频率比例方式，根据负载选择合适的U/F模式，电动机的转矩取决于U/F方式。需要恒转矩时选择线性模式，线性模式保持了从零到基频时U/F的线性关系，如图5-33（a）所示。线性模式适用于机床、传送机等机械设备。当需要变转矩的时候，使用平方模式。平方模式保持了平方根的U/F值，如图5-33（b）所示。平方模式适用于在风机、泵等。

在特殊场合下，可以根据不同的应用调整U/F值，通过分别设置电压和频率的6个点来完成，如图5-33（c）所示。电压和频率的6个点分别设置在n_118～n_129中。

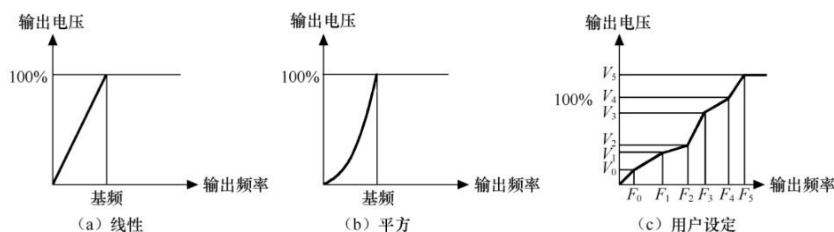
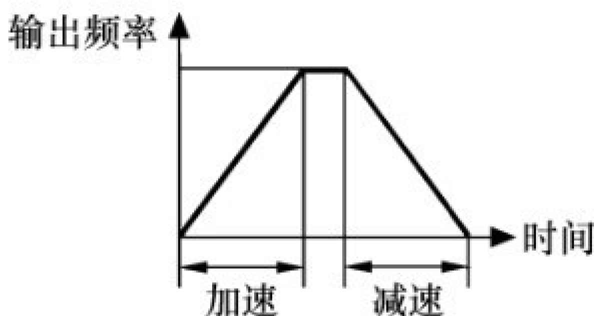
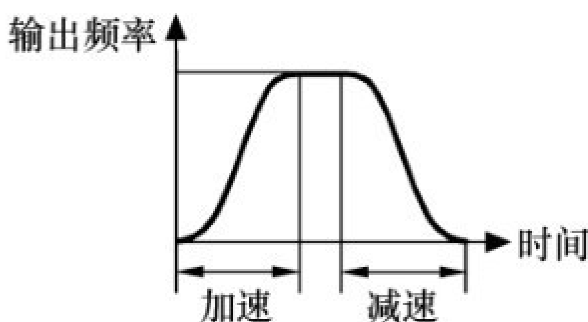


图5-33 U/F模式

(9) n_007：转矩提升。转矩提升功能是在低速时，通过增大变频器的输出电压增大初始转矩。如果提升值比预订的高，将导致电动机过电流而引起过电流保护动作。当变频器和电动机之间的距离过大时，也应增大转矩提升值。



（a）线性加减速曲线



（b）S 形加减速曲线

图5-34 变频器加减速曲线

转矩提升值是变频器额定电压的百分量。当 n_006（U/F 模式）被设置成“用户设置”时，这个功能不起作用。转矩提升值设置范围为0～20%。

(10) n_008：最大输出电压。该功能可调整变频器输出电压的高低。本功能适用于电压较低的电动机，设置范围为0～110%。

(11) n_009：加减速S曲线选择。此功能用于设置变频器的加减速曲线。当n_009设为0时，变频器按线性加减速曲线加减速，如图5-34（a）所示。如果需要图5-34（b）所示的 S形加减速曲线，应适当设置 n_009 参数的时间。线性加减速曲线适用于一般场合。S 形加

减速曲线实际的加减速时间等于所设加减速时间和 n_009 参数所设置时间的和。

(12)n_010，加速时间1；n_011，减速时间1。当加速和减速的时候，变频器的目标是n_005参数的设置值。加速时间是从0Hz到n_005设置值所需要的时间，减速时间是从n_005设置值到0Hz所需要的时间。

(13)n_012，加速时间2；n_013，减速时间2。这两个参数适用于多功能输入或图形运行方式。设置方法同n_010和n_011。

(14) n_014：显示模式选择。LED显示状态选择说明见表5-7。

(15)n_015，转速显示因子；n_016，转动圈数显示因子。当希望变频器显示转速或转动圈数时，适当选择这两个因子即可。转速等于转速显示因子乘以频率。转动圈数为电动机每秒转动圈数的增量，其累积值为：转动圈数 = 转动圈数显示因子 × Σ每秒转动圈数。

表5-7 LED显示状态选择说明

设置范围		描述
功能内容	代码	
输出频率	0	变频器的输出频率
输入频率	1	变频器的输入频率
输出电流	2	变频器的输出电流
输出功率	3	变频器的输出功率
输出电压	4	变频器的输出电压
母线电压	5	直流侧电压
输出转速	6	运行时显示输出转速，等待时为输入转速
累计圈数	7	电动机的累计转动圈数
PID 设置	8	显示 PID 的设置值
PID 反馈	9	显示 PID 的反馈值

(16) n_017，端子输入状态；n_018，端子输出状态。采用位显示端子的输入/输出状态，显示范围为000000～111111（0表示端子功能有效，1表示端子功能无效）。

(17) n_025，频率指令1；n_026，频率指令2；n_027，频率指令3；n_028，频率指令4；n_029，频率指令5；n_030，频率指令6；n_031，频率指令7。频率指令设置范围为0～600Hz，多功能端子多段速设置时有效。设置多段速频率说明见表5-8，可以设置7种运行速

度。

表5-8 设置多段速频率说明

多功能输入端子			多段速频率
多段速端子 1	多段速端子 2	多段速端子 3	
选定			频率指令 1
	选定		频率指令 2
选定	选定		频率指令 3
		选定	频率指令 4
选定		选定	频率指令 5
	选定	选定	频率指令 6
选定	选定	选定	频率指令 7

(18)n_032：点动频率选择。多功能端子寸动频率设置时有效，设置范围为 0～600Hz，点动频率可以被用作多段速频率之一，如果寸动端子为 ON，变频器的其他端子输入运行至点动频率。

(19)n_033，频率上限位；n_034，频率下限位。该功能用于设置变频器运行频率的极限值。变频器在上限和下限极限设置范围内运行，当频率设置在极限范围之外时，变频器在上限或者下限频率下运行。设置值为百分数，以最高输出频率（n_005）参数设置值运行时为100%。当设置频率低于频率下限时，变频器仍然从0.1Hz启动，并运行在频率下限值上。频率上限位和频率下限位的设置是联动的。也就是说，频率上限位的设置值不能低于频率下限位的设置值，频率下限位的设置值不能高于频率上限位的设置值。

(20) n_035：AVR功能选择。该功能为自动电压调整，选择此功能时可自动调整输出电压，使其稳定。

(21) n_036：电动机额定电流。用来设置电动机的额定电流（铭牌上的电流值），设置范围为0～60A。

(22) n_037：电动机空载电流。用来设置电动机的空载电流，电动机空载电流的设置值为额定电流的百分量，设置范围为0～30.0%。

(23) n_038：滑差补偿。为了保持电动机的转速均匀，根据负载电流，输出频率在设置的滑差频率的限定范围内变化。滑差频率的计算方法如下：

电动机额定滑差频率 ＝ (同步转速 － 额定转速) × 极对数 ÷ 120

电动机滑差补偿频率 ＝ (输出电流 － 空载电流) ÷ (额定电流 － 空载电流) × 电动机额定滑差频率

变频器输出频率 ＝ 设置频率 ＋ 电动机滑差补偿频率

设置范围：0为无效，1表示补偿量设置范围为0.1%~10%，此补偿频率为基频的百分比。

(24) n_039：电子过热继电器动作参数。根据变频器额定电流的百分比来设置电子过热继电器开始动作时的电流值。

动作值 ＝ 电动机额定电流 ÷ 变频器额定电流 × 100%

在驱动小容量的电动机时，应根据电动机的额定电流将n_039设置成较小的值，设置范围为30%~105%。

(25) n_040：电子过热继电器功能选择。当n_040 ＝ 0时，电子过热继电器的功能不起作用，但对变频器起过热保护作用。当 n_040 ＝ 1 时，电子过热继电器的功能适用于变转矩负载。当n_040 ＝ 2时，电子过热继电器的功能适用于恒转矩负载。

电子过热继电器的延时动作时间为1min。电子过热继电器的过载保护是通过监视变频器的输出电流来进行的，只限于变频器与电动机一对一的情况。

(26) n_041~n_046：多功能输入选择。多功能输入选择说明见表5-9。

表5-9 多功能输入选择说明

设置范围		描述
功能内容	代码	
无效	0	端子功能无效
正转运转指令	1	由端子给出正转指令
反转运转指令	2	由端子给出反转指令
外部故障常开输入	3	用于端子输入外部故障信号（常开）
外部故障常闭输入	4	用于端子输入外部故障信号（常闭）
外部复位	5	端子输入复位信号
自由停止	6	端子输入自由停止信号
直流制动	7	端子输入直流制动停止信号

续表

设置范围		描述
功能内容	代码	
频率递增指令	8	端子输入频率递增/递减命令
频率递减指令	9	
多段速端子 1	10	通过适当设置可得到七段运行速度（参考 n_025～n_031）
多段速端子 2	11	
多段速端子 3	12	
寸动频率指令	13	寸动频率指令选择
二段加减速时间切换	14	用于在加减速时间 1 和 2 之间切换
运行使能（3 线控制，断开时为禁止）	15	此四项功能组合可实现变频器的点动控制。使用时，运行使能端子与公共端一直连接，由正转运转指令端子或反转运转指令端子给出触发信号，变频器即运行，如要使变频器停止运行，只要给出停止指令端子触发信号即可
正转运转指令（3 线控制，触发有效）	16	
反转运转指令（3 线控制，触发有效）	17	
停止指令（3 线控制，触发有效）	18	
圈数累计清零	19	使变频器的累计转动圈数回零
PID 选择	20	选择 PID 功能

多功能输入方式的设置是互锁的，即同一个参数代码只能被设置一次（0代码除外）。如果需要更改某端子的参数，而要更改后的参数与其他端子的参数相同，那么将不能被更改，只有通过0代码作为中间通道来更改。

例如：初始参数 n_041 ＝ 1，n_042 ＝ 2，要求更改后 n_041 ＝ 2，n_042 ＝ 1，更改方法为设置n_041 ＝ 0→设置n_042 ＝ 1→设置n_041 ＝ 2。

(27)n_049：多功能输入滤波时间常数。设置范围为10～100ms。这是输入端子（S1～S6）的响应时间常数（决定输入的响应速度）。这个功能在有噪声干扰的场合是非常有用的。要求响应速度快时，滤波时间常数要取小些；输入杂波大时，滤波时间常数要取大些。

(28)n_050～n_053：多功能输出方式选择。多功能输出方式选择说明见表5-10。

表5-10 多功能输出方式选择说明

设置范围		描述
功能内容	代码	
故障	0	变频器故障时输出
欠电压封锁停止中	1	欠电压封锁停止中输出
加速失速限制中	2	加速失速限制中输出
减速失速限制中	3	减速失速限制中输出
运转中	4	变频器正常运转时输出
加速中	5	变频器加速过程中输出
减速中	6	变频器减速过程中输出
恒速中	7	变频器恒速运行中输出

续表

设置范围		描述
功能内容	代码	
运行中零速	8	运行中出现零速输出
停止中	9	变频器停止时输出
频率检出 A（输出检出≤n_068）	10	当输出检出小于或等于频率检出标准 A 时，有输出
频率检出 A（输出检出≥n_068）	11	当输出检出大于或等于频率检出标准 A 时，有输出
频率检出 B（输出检出≤n_069）	12	当输出检出小于或等于频率检出标准 B 时，有输出
频率检出 B（输出检出≥n_069）	13	当输出检出大于或等于频率检出标准 B 时，有输出
自动复位运行中	14	在变频器复位过程中输出
频率上限限制	15	当变频器工作在频率上限时输出
频率下限限制	16	当变频器工作在频率下限时输出
自由停车封锁中	17	当变频器不能自由停车时输出
通信故障	18	变频器发生通信故障时输出
图形运行每个循环结束	19	变频器图形运行每个循环结束时输出
图形运行总周期结束	20	变频器图形运行总周期结束时输出

(29)n_054，VI模拟输入增益；n_055，VI模拟输入偏差。模拟输入VI对应输出频率的增益是以10V对应的最大频率的百分数来进行设置的，模拟输入VI的偏差是以10V模拟电压为100%设置的。

例1　当需要输入0.5V电压时对应的输出频率是0Hz，输入5V电压时对应的输出频率是50Hz，设置方法为

$$n_055 = 5[(0.5/10) \times 100\%]$$

$$n_054 = 200[(10/5) \times 100\%]$$

例2　当需要输入0.5V电压时对应的输出频率是0Hz，输入4V电压时对应的输出频率是50Hz，设置方法为

$$n_055 = 5[(0.5/10) \times 100\%]$$

$$n_054 = 250[(10/4) \times 100\%]$$

（30）n_056，II 模拟输入增益；n_057，II 模拟输入偏差。模拟输入 II 对应输出频率的增益是以 10V 对应的最大频率的百分数来进行设置的。4～20mA 的电流模拟量是通过输入5V模拟电压，由变频器进行电流采样得到的。模拟输入II的偏差是以10V模拟电压为100%设置的。

例1 当需要输入1V（4mA）电压时对应的输出频率是0Hz，输入5V（20mA）电压时对应的输出频率是50Hz，设置方法为

$$n_055 = 10[(1/10) \times 100\%]$$

$$n_054 = 200[(10/5) \times 100\%]$$

例2 当需要输入1V（4mA）电压时对应的输出频率是0Hz，输入4V（16mA）电压时对应的输出频率是50Hz，设置方法为

$$n_055 = 10[(0.5/10) \times 100\%]$$

$$n_054 = 250[(10/4) \times 100\%]$$

（31） n_058：模拟输入滤波时间。设置范围为0.1～10.0s。这个功能在有噪声干扰的场合是非常有用的。要求响应速度快时，滤波时间常数要取小些；输入电压杂波大时，滤波时间常数要取大些。

（32） n_059：模拟量输出项目选择端子。n_059 用于控制 FM 端子显示变频器的输出频率、输入频率、输出电流、输出功率、输出电压、母线电压、散热片温度。平均范围是 0～10V。

输出频率：FM端子输出变频器的输出频率。输出值由下式计算：

$$\text{FM输出电压} = (\text{输出频率}/\text{最大频率}) \times 10V \times n_060 \times 100\%$$

输入频率：FM端子输入变频器的输出频率。输出值由下式计算：

$$\text{FM输出电压} = (\text{输入频率}/\text{最大频率}) \times 10V \times n_060 \times 100\%$$

输出电流：FM端子输出变频器的输出电流。输出值由下式计算：

$$\text{FM输出电压} = (\text{输出电流}/\text{额定电流}) \times 10V \times n_060 \times 100\%$$

输出功率：FM端子输出变频器的输出功率。输出值由下式计

算：

FM输出电压 = (输出功率/额定功率) × 10V × n_060 × 100%

输出电压：FM端子输出变频器的输出电压。输出值由下式计算：

FM输出电压 = (输出电压/最大输出电压) × 10V × n_060 × 100%

母线电压：FM端子输出变频器的母线电压。输出值由下式计算：

FM输出电压 = (母线电压/500V) × 10V × n_060 × 100%（单相）

FM输出电压 = (母线电压/1000V) × 10V × n_060 × 100%（三相）

散热片温度：FM端子输出变频器的散热片温度。输出值由下式计算：

FM输出电压 = (散热片温度/100℃) × 10V × n_060 × 100%

（33）n_060：模拟量输出增益。用n_060的设置参数调整FM输出值，n_060的设置范围为0.0～100.0%。

（34） n_061，跳跃频率1；n_062，跳跃频率2；n_063，跳跃频率3。设置范围为0.00～600.0Hz。

（35） n_064：跳跃频率幅度。n_064的设置范围为0.00～5.00Hz。

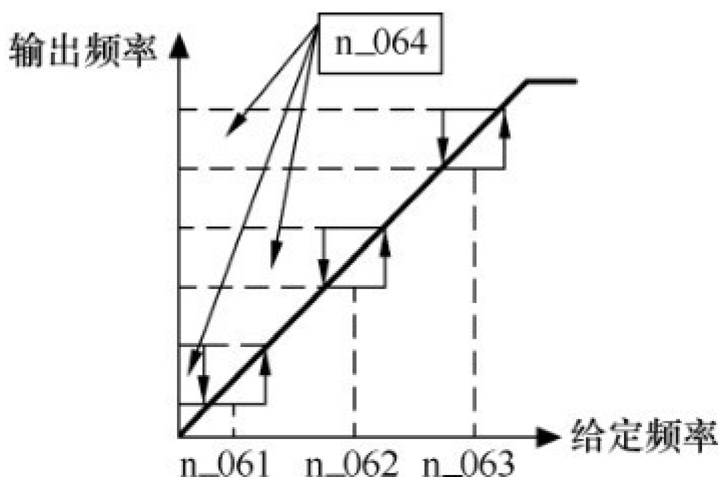


图5-35 跳频频率的设定

为了防止变频调速系统发生共振和振动，这组功能锁住了运行中的共振频率。可以设置3个不同的跳频频率，如图5-35所示。在加速和减速期间没有跳频功能，它仅出现在连续运行期间。

跳跃频率 1、跳跃频率 2、跳跃频率 3 之间不存在任何大小次序关系，三者之间也可根据需要设置成连续、重叠等关系。

（36）n_065：直流制动转矩。这个功能通过引入直流电压至电动机而使电动机迅速停止。直流制动转矩的设置值是变频器额定电压的百分数，设置范围为0.0～20.0%。

（37）n_066，停止时直流制动时间；n_067，启动时直流制动时间。设置范围为0.0～10.0s。

（38） n_068，频率检出标准A；n_069，频率检出标准B。设置范围为0.00～600.0Hz。设置频率检出标准A、B，配合参数n_050、n_051、n_052、n_053产生多功能输出。

（39）n_070：减速中失速防止。减速中失速防止设置说明见表5-11。

表5-11 减速中失速防止设置说明

0	无　　效
1～10	减速中失速，相对于通常减速时间的倍率

（40）n_071：加速中失速防止。加速中失速防止设置说明见表5-12。

表5-12 加速中失速防止设置说明

0	无　　效
1～10	加速中失速，相对于通常加速时间的倍率

（41） n_072：加速中失速防止电流标准设置。设置范围为30%～160%。

（42） n_073：软件欠压保护选择。0，无效；1，有效。

（43） n_074：软件欠电压保护标准设置。设置范围为5%～25%。采用n_073和n_074的组合来完成变频器的欠电压保护功能。

n_074的欠电压保护标准是额定输入电压的百分数，此功能可防止电动机因长期欠电压运行而损坏。

（44） n_075，故障再试转次数；n_076，再试转延时。采用n_075和n_076的组合来选择变频器故障时是否再试转和每次再试转的时间，以便观察故障现象。故障再试转次数设置说明见表5-13。

表5-13 故障再试转次数设置说明

故障再试转次数	0（无效）、1～10 次
再试转延时时间	0.1～10.0min

（45）n_079：载波频率。设置范围为1.0～10.0kHz。这个参数影响电动机的运行声音、噪声、温度和泄漏电流。如果变频器周围环境的温度高或者其他设备受到变频器噪声的干扰，这个值取小些。同时也被用于避免电动机和变频器谐振。

（46）n_080：控制方式选择。用于设置变频器对电动机的控制方式。

0：标准。标准方式除了自动运行（即图形、PID）外，其余功能都有效。当需要较大的初始转矩时，推荐使用转矩提升（n_007）功能。

1：图形运行方式。图形运行方式是以n_100～n_117等功能设置的参数运行。

2：PID。PID方式适用于风机或泵系统。通过把反馈值和变频器的设置值进行比较，PID控制方式可以调整实际的输出。设置的形式可以是速度、温度、压力、流量等。

（47）n_081：键盘锁。键盘是否锁定功能的设置说明见表5-14。

表5-14 键盘是否锁定功能的设置说明

0	不 锁 定
1	参数 n_081 可设置/读出，其余仅可读出。通过键盘可更改设置频率
2	参数 n_081 可设置/读出，其余仅可读出。通过键盘不可更改设置频率

（48） n_082：参数集。用于变频器参数的初始化。出厂设置为“*”的参数（只读）不能用于智能键盘数据与变频器参数集之间的

参数传输（n_082 ＝ 2 或 3）。变频器参数的初始化说明见表5-15。

表5-15 变频器参数的初始化说明

0	功能完成（初始化完成）
1	用出厂设置改写变频器参数集
2	用智能键盘数据改写变频器参数集
3	将变频器参数集传输给智能键盘

（49） n_096：传输时间超出检出选择。0，时间不超出；1，时间超出。

（50） n_097：传输错误时停止方法选择。变频器在通信传输错误时的停止方式选择说明见表5-16。

表5-16 变频器在通信传输错误时的停止方式选择说明

0	按减速时间 1 减速停止
1	自由停车
2	按减速时间 2 减速停止
3	继续运转（警告表示）

（51）n_098：通信站别设置。设置范围为0～64。

（52） n_099：传输率选择。设置的通信传输速率有2.4kbit/s、4.8kbit/s、9.6kbit/s、19.2kbit/s。

3．操作程序

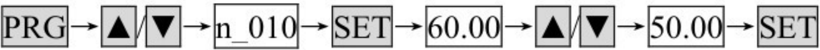
① 首先移动欲变更的编码。

② 按下PRG键，LED的编程指示灯会点亮。

③ 按下▲或▼键，移动到想得到的参数代码；按下SET键，读出原始数据。在变频器运行期间不能调整参数。

④ 如要重新设置时，在n_081（键盘锁）项中启动参数闭锁功能。按下▲或▼键，得到需要的参数值，再按下SET键，重新设置数据显示闪亮，表示重新设置完毕。

⑤ 加速时间设置。将加速时间从60s改为50s的方法如下（LED操作面板）。



⑥ 数据设置结束时，被设置的数据闪亮，表示设置完毕。

⑦ 按下>>+▲/▼键，可快速更改数据或代码。

4．运行操作

（1）面板操作运行

① 按下PRG键，用操作面板设置运行和频率指令。

② 用操作面板设置［操作命令］和［频率命令］。

③ 用▲/▼、SET键设置运行频率为50.00Hz。停止时显示设置频率。

④ 按下RUN键，电动机会转动，显示输出频率。

⑤ 按下STOP键，电动机减速后停止，这时频率为设置频率。

（2）控制端子排的运行

① 按下PRG键，用控制端子排设置运行和频率指令。

② 将［操作命令］设置为端子命令，［频率命令］设置为VI。

③ 把VI电压逐渐升高，设置模拟频率指令。操作面板会显示设置频率（50.00Hz）。

④ 施加运行指令信号（正转或反转）。

⑤ 把VI电压逐渐减小时，输出频率会降低，降低为0.00Hz时变频器会停止运行，电动机也不会旋转。

⑥ 更改设置频率时，按下>>+▲/▼键即可。

5.3 变频调速系统的调试

5.3.1 系统调试项目

1．调试工作条件

会审变频调速系统的有关技术资料、技术文件、施工图纸，协助配合的电气安装工作已经完成；安装质量经验收合格；符合设计、厂家技术文件和施工验收规范，在安装过程中的有关试验已完成，经验收符合有关标准。需掌握的调试技术条件如下。

① 变频器的主要技术参数，如电压、电流、功率、频率范围、电动机转数、启动时间、制动时间。

② 变频器操作手册中的程序、操作步骤、参数的编程设置、主要保护的内容及参数。

③ 整个系统的控制原理，有关保护、工艺连锁的原理。

④ 一次设备主回路、二次控制回路的接线图。

调试程序如下。

① 变频器带电的本体调试。

② 变频器及电动机的空载调试。

③ 变频器及电动机系统带负荷调试。

2．送电前检查项目

送电前的检查项目如下。

① 高低压开关柜内一次设备本体试验执行的标准和文件。

② 柜内设备的外观检查，着重于检查螺钉的紧固连接情况、设备的完好情况、主回路的绝缘性能及机械连锁。查看变频器的安装空间、通风情况是否满足相关规定的要求，铭牌是否与电动机匹配，控制线布局是否合理，进出线接线是否正确。变频器的内部主回路负极端子N不得接到电网中线上，各控制线接线应正确无误。根据变频器容量等因素确认输入侧交流电抗器和滤波直流电抗器是否接入，一般22kW 以上的要接直流电抗器，45kW 以上的还要接交流电抗器。

③ 柜体内继电器、计量用仪表的检定校验按随机技术文件提供的测试项目及数据正确完整。

④ 按照原理图设计的要求，二次控制、保护、信号调试动作要可靠、正确，应符合设计要求。确认变频器工作状态与工频工作状态的互相切换接触器互锁，不能造成短路，并且在这两种使用状态下电动机转向相同。

⑤ 大型变频调速系统若设有专用变压器，除了按照厂家技术文件执行外，可增加一些测试项目，如直流电阻和交流耐压试验等，用于产品质量的把关。交流耐压试验标准可按IEC标准执行或按国家标准执行。

⑥ 按照电缆的电压等级、型号以及标准试验的实验报告数据正确完整。

⑦ 对于大型变频调速电动机，变压器至变频器和电动机主回路的电缆往往是独芯电缆。所以，在电缆头做好以后，要对电缆进行核相，电缆的相序一定要正确，不得有误。

⑧ 若变频器与电动机之间的导线长度超过 50m，且该导线布在铁管或蛇皮管内的长度超过30m，特别是对于一台变频器驱动多台电动机的情况，变频器输出导线的对地分布电容很大，应在变频器输出端子上首先接交流电抗器，然后接到后面的导线上，最后是负载，以免过大的电容电流损坏逆变模块。在输出侧导线较长（大于100m）时，还要将PWM的调制载频设置在低频段，以减少输出功率管的发热，降低其损坏的概率。

⑨ 电网供电不应缺相，电网交流电压、控制电压值等应为规定值，绝缘电阻应符合要求（注意电源进线端压敏电阻的保护，使用高压兆欧表时要分辨压敏电阻是否已动作）。

⑩ 熟悉变频器的操作键。一般的变频器均有运行（RUN）、停止（STOP）、编程（PROG）、数据/确认（DATA/ENTER）、增加（UP、▲）、减少（DOWN、▼）等6个键，不同变频器操作键的定义基本相同。此外，有的变频器还有监视（MONITOR/DISPLAY）、复位（RESET）、寸动（JOG）、移位（SHIFT）等功能键。对于这些键要进行模拟调试操作。

3．变频调速电动机本体试验

本项试验要在变频器通电前主回路电缆未连接时完成。

① 对于电动机应参照厂家的技术文件进行试验，一般经与厂家协商可增设直流电阻、极性及旋转方面的试验。如厂家同意，还可依据IEC标准进行交流耐压试验。

② 对于国产电动机可执行国家有关标准。

③ 做好电动机试运行中的各项技术参数测试工作。

4．安全防护

① 为保证设备的安全，根据电气设备各回路不同的电压等级选择

不同的兆欧表的电压等级，对设备、电缆、线路进行绝缘测试。

② 通电投运前调试的试验报告及安装情况须经质检部门、甲方确认后，方可送电。

③ 有经审批的试车方案。

④ 配合调试的工作重点应放在一次回路的检查、电缆的校相、变压器和电动机的本体试验上，确保二次回路接线正确无误。

⑤ 变频器的调试重点应放在掌握手册、操作步骤、各种连锁的相互关系以及设备的技术参数上，并在试运中记录检验参数的可行性。

5．质量标准

① 对于国产设备应遵循国家有关标准。

② 对于国外进口设备应遵照厂家技术文件、IEC标准或设备所属国家和地区的标准。

③ 对于国外进口工程，在电气专业的施工方法方面应执行设备国的相关标准，并结合国内相关标准。尤其是电气调试的专业性和技术性强，对整个电气安装工程有着重大影响，因此，应检验电气设备的内在质量，严格把关，确保工程送电、试运行、投产顺利进行。所以，对进口项目工程不能照搬国内工程的常规施工项目、标准和方法进行调试，而应依据IEC标准、设备所属国家和地区或制造厂家的标准进行调试。

④ 当有额外的试验项目时，可与国外设备方协商按 IEC 标准和厂家试验标准实施。例如，一次设备的交流耐压试验应遵循IEC标准并经外方认可。

5.3.2 变频器的操作

1．变频器面板按键功能说明

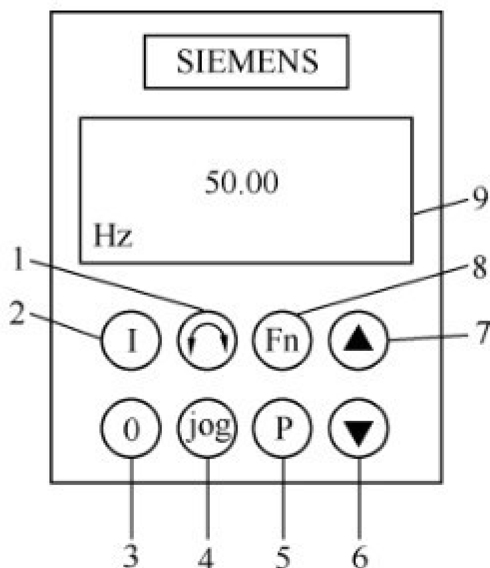


图5-36 变频器面板示意图

图5-36为变频器面板示意图，其中各按键的功能如下。

1：改变方向。按此键可改变电动机的旋转方向。

2：启动变频器。

3：停止变频器运行。

4：电动机点动。在变频器无输出的情况下，按下此键，将使电动机启动，并按预先设置的点动频率运行。释放此键时变频器停止运行。

5：访问参数。按此键可访问变频器的参数。

6：减小数值。按此键可减小面板上显示的数值。

7：增大数值。按此键可增大面板上显示的数值。

8：此键用于浏览辅助信息。按下此键并保持不动，将从运行时的任何一个参数开始浏览，显示的数据有直流回路电压（用d表示）、输出电流（A）、输出频率（Hz）、输出电压（0）、P0005选定的数值。

9：状态显示。显示变频器当前使用的设置值。

2．变频器的简易操作步骤

变频器运行的参数设置完毕后，若采用远程控制模式，需将变频器的参数P0700和P1000设为5。具体操作如下：按编程键P，数码管显示r0000，按▴键直到显示P0700，按P键显示旧的设置值，按▴或▾键直到显示5，按P键将新的设置值写入变频器，数码管显示P0700，按▴键直到显示P1000，按P键显示旧的设置值，按▴或▾键直到显示5，按P键将新的设置值输入，数码管显示P1000，按▾键返回到r0000，按P键退出，此时设置完毕，可投入运行。

若采用手动控制模式（即用变频器的面板按钮进行控制），须将变频器的参数 P0700 和P1000 设为 1（设置方法与远程控制模式相同），然后再按运行键（面板上的绿色按钮），即可启动变频器。按▴键可升高频率，按▾键可降低频率，按停止键（面板上的红色按钮）则停止变频器的运行。

正常运行时P0010应设置为0，为了防止操作失误，通常应将P0003设为0，但在调整参数及改变控制模式时应将P0003设为2。

3．日锋变频器的简单操作（**PID**）

（1）变频器送电

变频器闭环运行时，在运行状态下显示实际压力值，在停机状态下显示压力设置值。开环时，显示频率（Hz）或其他物理量（由用户设置）。

（2）参数设置

按shift键，进入功能代码。

按▾或▴键，选择相应的功能代码。

按shift键，进入功能代码的参数设置状态。

按▾或▴键，修改参数。

按set键确定。

按shift键，退出设置。

（3）监视功能代码

闭环和开环状态都是从C00开始（特选的功能代码除外）。

按shift键，进入功能代码。

按set键，进行翻页查找显示。

按shift键，查看相应功能代码的参数值。

按shift键，退出显示相应的功能代码参数值。

按set键，进行翻页查找。

（4）PID控制功能代码的参数设置

F10 = 1：0为键盘控制启停（开环），1为端子控制启停（闭环）。

F11 = 0：0为键盘▼或▲键数字设置，1为旋钮模拟设置。

*F12 = 0，F11 = 0时，F12为出厂值（0）；F11 = 1时，F12相应改动。

F20 = 33：为平方转矩型负载使用。

F21 = 3：为平方转矩型负载使用。

F80 = 1：对于PID闭环模式1，为选择闭环有效。

*F81 = 1.0：反馈系数选择，调整显示实际值的准确度。

*F82 = 0：VF、IF端子选择，VF为电压信号，IF为电流信号。

F83 = 2.0：反馈滤波时间常数。

F84 = 设置值：在停机或运行时均可设置，但运行设置为运行监视功能代码C01。

*F85 = 0：作用方式选择，其中0为反作用，1为正作用。

*F86 = 0.00：反馈偏置电压。

F87 = 90：积分作用范围。

F88 = 3.0：比例增益。

F89 = 10.0：积分时间常数。

*F90 = 0.0：微分时间常数。

注：带“*”项为选择出厂值即可，无须改动。

4．科比F5变频器的操作

（1）用于同步电动机

① 打开COMBIVIS软件，首先将参数Ud02设为“11”。

② 单击菜单栏中的“Project-explorer”下的“Editsetadr.Mode”，在弹出的对话框中单击“Allset”选项。

③ 将初始化参数打开并下载至变频器中。

④ 输入电动机铭牌额定参数 dr23 ~ dr31，dr26 所输入的是同步电动机反电动势，dr28为1.1倍额定电流。

⑤ 将参数fr10设为“1”并确认，电动机自适应。

⑥ 电动机自学习。电动机空载，抱闸打开，将参数 Ec02 设置为“2206”，启动检修开关，开始自学习，直至Ec02稳定为止。若自学习不成功，则将Ec06设为“1”，重新自学习。

⑦ 多段速设置。单击oP03左边的绿色小箭头，出现set0 ~ set7的菜单，分别设置各段速度。其中，set2为爬行速度，set3为额定速度，set4为检修速度，set5为中速1，set6为中速2，其他set未启用。

⑧ 在Ec27中设置相应分频比。

⑨ 进行各段速度试运行，监视接触器、抱闸等时序是否正确。

（2）用于异步电动机

① 打开COMBIVIS软件，首先将参数Ud02设为“4”。

② 单击菜单栏中“Project-explorer”下的“Editsetadr.Mode”，在弹出的对话框中单击“Allset”选项。

③ 将初始化参数打开并下载至变频器中。

④ 输入电动机铭牌额定参数dr00 ~ dr06。

⑤ 将参数fr10设为“1”并确认，电动机自适应。

⑥ 多段速设置。单击oP03左边的绿色小箭头，出现set0 ~ set7的菜单，分别设置各段速度。其中，set2为爬行速度，set3为额定速度，set4为检修速度，set5为中速1，set6为中速2，其他set未启用。

⑦ 开环运行电动机。将参数 cS00 设为“0”即开环，运行电动机，监视实际速度 ru09与给定速度 ru01 的大小、方向是否一致，同时监视接触器、抱闸等时序是否正确。若 ru09与ru01的方向相反，则将Ec06设为“1”，再进行调试。

⑧ 闭环运行电动机。观察ru09与ru01的大小、方向相一致后，将cS00设为“4”，闭环运行电动机，观察电流和时序。

⑨ 在Ec27中设置相应的分频比。

5.3.3 变频器的调试

1．静态调试

（1）静态调试前检查

静态调试前主要检查的项目如下。

① 检查盘柜的外观。在送电之前，先观察控制柜外表有无撞击痕迹，柜内一次、二次设备的元器件有无人为损坏，连接是否正确，各元器件之间的电缆连接是否牢靠，控制线路接头是否松动；检查各个电动机的电缆连接是否牢靠，各相对地绝缘是否满足标准要求。

② 盘柜内及盘柜间二次回路接线检查。

③ 通电前应进行系统的模拟测试。

④ 与厂家配合，在通电前对开关柜、电缆、变压器、变频器、电动机整个系统进行检查确认。

（2）通电及参数设置

在上述静态检查无误后，按变频调速系统调试方案的步骤送电至变频器。通电后，先检测三相电源是否缺相，电压是否稳定，应在允许范围内。再观察显示器，并按产品使用手册的要求变更显示内容，检查有否异常。检查风机运转与否，有的变频器使用温控风机，开机后不一定运转，而要等机内温度升高后风机才运转。

进行变频器带电后的调试、技术参数的测试及设置。设置前先读懂产品使用手册，电动机能脱离负载的先脱离负载。变频器在出厂时设置的功能不一定符合实际使用要求，因此，需进行符合现场所需功能要求的设置。对于矢量控制的变频器，要按手册设置或自动检测，并在检查设置完毕后进行验证和储存。

2．空载运行

在变频器带机（即接上电动机）空载（即电动机不带负载）调试时，下列几步至关重要。

① 设置电动机的功率、极对数，确定变频器的工作电流。

② 压/频（U/F）工作方式的选择包括选择最高工作频率、基本工作频率（即基底频率）和转矩类型等项目。

③ 按照变频器使用说明书对电子热继电器的功能进行设置。

④ 将变频器设置为自带键盘操作模式，按变频器自带键盘上的运

行键、停止键，观察电动机是否能正常启动、停止。将电动机所带的负载脱离或减轻，进行以下空载运行检查。

- 检查进线和出线电压，听电动机运转声音是否正常，检查电动机转向反了没有。若反了，首先要更正电动机的接线。
- 改变运行频率并进行观察，注意检查电动机温升情况及加减速是否平滑等。加速时间、减速时间的设置应满足设备运行速度的控制要求，同时不应在正常加速、减速过程中出现变频器过电流、过电压等跳闸现象。不能满足升速要求时应考虑加大变频器容量，降速出现问题时应选用制动单元。
- 各频率点有无异常振动、共振、声音不正常现象。如有共振，应使用变频器的跳频功能避开该频率点。
- 按设置的程序从头到尾试一遍进行确认。
- 模拟日常会发生的操作，将各种可能的操作做一遍，确认无误。
- 听电动机因调制频率产生的振动、噪声是否在允许范围内，如不合适，可更改调制频率。若频率选高了，振动和噪声将减小，但变频器温升增大，电动机输出的力矩有所下降。如果可能的话，调制频率低一些为好。
- 测量输出电压和电流对称程度，对电动机而言不得有10%以上的不平衡度。

3．负载试运行

变频器负载（即变频器接上电动机且电动机带上负载）运行调试的检查项目如下。

① 手动操作变频器面板上的运行、停止键，观察电动机的运行、停止过程及变频器的显示窗，看是否有异常现象。对于低速重负荷的恒转矩负载，启动时变频器时常出现电流保护动作或位能负载出现溜车现象，这些均为启动转矩不够所致。解决的方法是增大低频时的启动转矩。应适当加大转矩的提升值（实际为低频电压补偿），但转矩提升过大会加剧电动机低速铁芯过饱和引起电动机发热。如果变频器还是出现运行故障，应更换更大一级功率的变频器。如果变频器带动

电动机在启动过程中达不到预设速度，可能有两种情况。

- 系统发生机电共振，可以从电动机运转的声音进行判断。采用设置频率跳跃值的方法，可以避开共振点。一般变频器能设置三级跳跃点。
- 电动机的转矩输出能力不够。不同品牌的变频器出厂参数设置不同，在相同的条件下带载能力不同。可能因变频器的控制方法不同，造成电动机的带载能力不同；或因系统的输出效率不同，造成带载能力有所差异。对于这种情况，可以增大转矩提升量的值。如果达不到，可使用手动转矩提升功能，但不要设置得过大，这时电动机的温升会增加。如果仍然解决不了问题，应改用新的控制方法。比如日立变频器采用U/F比值恒定的方法启动，达不到要求时，改用无速度传感器空间矢量控制方法，它具有更大的转矩输出能力。对于风机和泵类负载，应减小降转矩的曲线值。

② 按正常负载运行，用钳形电流表测各相输出电流是否在预定值之内（观察变频器自显示电流也可，两者略有差别）。

③ 对于有转速反馈的闭环系统，要测量转速反馈是否有效。做一下人为断开和接入转速反馈试验，看一看对电动机电压、电流和转速的影响程度。

④ 检查电动机旋转的平稳性，加负载运行到稳定温升（一般3h以上）时电动机和变频器的温度是否太高。如果太高，应调整，调整时可从改变以下参数和因素着手：负载、频率、U/F曲线、外部通风冷却条件、变频器的调制频率等。

⑤ 试验电动机的升降速时间是否过长或过短，不合适时应重新设置。检查此项设置是否合理的方法是先按经验选定加、减速时间进行设置，若在启动过程中出现过电流，则可适当延长加速时间；若在制动过程中出现过电压，则适当延长减速时间。

⑥ 试验各类保护显示的有效性，在允许范围内尽量多做一些非破坏性的各种保护的确认工作。如果变频器在限定的时间内仍然有保护动作，应改变启动/停止的运行曲线，从线性曲线改为S形、半S形、反S形或反半S形曲线。电动机负载惯性较大时，应该采用更长的启

动、停止时间，并且根据其负载特性设置运行曲线的类型。

如果变频器仍然存在运行故障，应尝试增大最大电流的保护值，但是不能取消保护，应留有至少10%的保护余量。

⑦ 按现场工艺要求试运行一周，随时监控，并作好记录作为今后工况数据的对照依据。

在手动负载调试完成后，如果系统中有上位机，则将变频器的控制线直接与上位机控制线相连，并将变频器的操作模式改为端子控制。根据上位机系统的需要，进行系统调试。

5.4 变频器调试实例

5.4.1 风光变频器的调试

1．风光低压变频器的调试

（1）空载检查及参数予置

对于风光变频器，可以在不接通主电源而只接控制电源的情况下进行检查。对于小功率变频器可以把主接线端子排上的短路片去掉，输入 380V 电压。大功率变频器一般都有控制电压输入端子，可用一电缆接入 380V 电源进行检查（注意接电源之前应将两端子上与三相输入相连的两根线去掉）。参照说明书，熟悉各个键盘的使用方法，即了解键盘上各键的功能，进行试操作，并观察显示内容的变化情况。按说明书要求进行“启动”、“停止”等基本操作，观察变频器的工作情况是否正常，同时进一步熟悉键盘的操作。

上述模拟操作完成后，变频器开机，将频率升至50Hz，用万用表（最好用指针式万用表）测量三相输出电压（应平衡）。按照说明书介绍的方法对主要参数进行预置。就几个较易观察的项目，如升速和降速时间、点动频率、多挡转速时的各挡频率等检查变频器的执行情况是否与预置的相符。

模拟操作和检查完成后，停止为变频器送电，对于小功率的将拆

下的短路片放回原处（注意放上去之前主回路中短路片的两个端子要放电），对于大功率的应将控制端子的两根外接线去掉，并将原来的接线恢复。

（2）空载运行

检查变频器外接控制线的连接是否正确、牢固、可靠。变频器的三相输出先不接电动机，给变频器输入三相380V电源，启动变频器运行，检查和测试变频器空载运行情况。

（3）负载运行

经空载运行检查和测试，证明变频器正常后，即可带负载运行。变频器的负载运行包括轻载试运行和重载运行（即正常运行）。

试运行前一般都应检测一下电动机的绝缘，绝缘电阻不能低于规范要求值。在变频器的输出端接上电动机，为变频器送电，由键盘启动变频器运行。

① 点动或在低频下试运转。观察电动机的旋转方向。若是反转，可利用变频器的正反转端子调整，或停电后调整变频器的输出接线。有的机械可能不允许反转，这时就应当将电动机与机械的联轴器拆开，先使电动机空转，调整好转向后再将联轴器装好。

② 起转试验。使工作频率从 0Hz 开始逐渐增大，观察拖动系统能否起转，在多大频率下起转。如起转比较困难，应设法加大启动转矩。具体方法有：加大启动频率，加大U/F值，以及采用矢量控制方法等。

③ 启动试验。将给定信号加至最大，观察启动电流的变化；检查整个拖动系统在升速过程中运行是否平稳。如因启动电流过大而跳闸，则应适当延长升速时间。如在某一速度段启动电流偏大，则设法通过改变启动方式（S形、半S形等）来解决。

④ 停机试验。将运行频率调至最高工作频率，按停止键，观察拖动系统的停机过程。若在停机过程中因过电压或过电流而跳闸，则应适当延长降速时间。当输出频率为0Hz时，检查拖动系统是否有爬行现象，如有则应适当加入直流制动。

⑤ 拖动系统的负载试验。负载试验的主要内容如下。

• 如f_{max} ＞ f_N ，则应进行最高频率时的带载能力试验，也就是检查在正常负载下能否正常工作。

• 在负载的最低工作频率下，应考察电动机的发热情况。使拖动系统工作在负载所要求的最低转速下，施加该转速下的最大负载，按负载所要求的连续运行时间进行低速运行试验，观察电动机的发热情况。

• 过载试验可按负载可能出现的过载情况及持续时间进行，观察拖动系统能否继续工作。

调整完以后，使变频器正式负载运行，一般应观察2h以上。

2．风光高压变频器的调试

风光高压变频器的调试步骤如下。

① 将柜门上的隔离开关拉下，并将柜门上的“变频启动”按钮旋开，使其呈断开状态。送电后，用万用表的“2500V”挡测量三相输入电压（一定注意安全），应在规定的范围内且三相平衡。若不正确，应停电检查供电电源。

② 确认电源正常后，合上隔离开关，用万用表检测 220V控制电源的波动（测量里面的接线插盒即可）是否在规定范围内（□20%）。若超出此范围，应拉下高压隔离开关，调整控制变压器的接头，直至满足要求。

③ 在一个单相插头上取一根线接在控制端子排的“C”端子上，将另一头的两相插在接线盒上（对于老机型，一根线接在“C”端子上，另一根线接在“D”端子上），合上隔离开关，变频器应能送上控制电流，面板上显示“43.21”，过几秒后“PRO”灯亮（新机型）或只有“PRO”灯亮（老机型）。若不显示，可将插头反过来重新插入。

④ 确认面板显示正常后，可检查变频器的控制功能是否正常。用万用表检测延时晶闸管两端的电压（即延时电阻上的电压），应在1.00V左右。将变频器的“开/停机”开关打在“开机”位置，变频器应能开机；调节“频率调节”旋钮，变频器的频率应从“2.00”升至“50.00”。用万用表测量变频器的三相输出端子（这时应从变频器一侧测量，因柜子并没有接通主电源，变频器的主接触器没有吸合），三相电压应

相互平衡，对中线也应相互平衡。2300V等级的三相电压为15V左右，对中线为10V左右；1140V等级的三相电压为9V左右，对中线为5V左右。若不平衡，应检查柜子在运输过程中有无掉线或其他问题。

⑤ 运行参数的设置。这包括变频器参数和电动机保护仪参数的设置。

• 变频器参数的设置。因变频器出厂时一般是按2300V/125kW或1140V/75kW设计的，因此，应根据现场负载的要求重新设置，包括额定电流、过载保护电流，而其他参数一般不需要修改。

• 电动机保护仪参数的设置。电动机保护仪的参数包括欠载电流、过载电流、欠电压设置、过电压设置等。

参数的设置方法可参照相应的说明书进行，主要有两种，即BK-3型和BK-J1型。BK-3型的设置方法是：在显示器显示“P”（刚送电或按4次“上挡”键）时，可对参数值进行修改。根据需要的数值，按相应的数字键，再按“上挡”或“下挡”键，最后按相应的功能键，即可完成参数值的修改。

BK-JI型的设置方法是：在就绪画面（刚送电或按4次“上挡”键）状态下，按一次“上挡”键，再按一次“整定值”键，屏幕显示整定值操作画面。画面上有光标闪烁，在光标闪烁位置可输入相应的数据。按“移动”键，光标可上下移动，屏幕右上角的箭头（“↑”或“↓”）指出当前的移动方向。按“上挡”、“方向”键可以改变箭头的方向。输入完毕，应按4次“上挡”键，保存修改结果。

⑥ 带载运行。参数设置好后，将插盒上的插头拔下，并将外接的“C”点（或者“C”、“D”两点）上的线拆掉，这时就可以带载运行了。

将柜门上的“变频启动”按钮按下，待设置的延时时间到达后，机内接触器吸合，变频器显示“43.21”且“PRO”灯亮（新机型）或只有“PRO”灯亮（老机型）。将变频器上的“开/停机”开关打在“开机”位置，变频器的频率即可从最低频率逐渐上升。调节“频率调节”旋钮，使频率先升至 30Hz，用钳形电流表测量三相输出电流，应基本平衡，不平衡度不应超过20%。然后升至用户要求的频率，再用钳形电

流表测量输入、输出电流，三相都应基本平衡。

若在调节过程中出现频率不上升的情况，即调整频率调节旋钮时频率不上升，输出电流持续增大，呈限速保护状态，直至过电流保护，这可能是低频补偿不足造成的，可调节主控板上的补偿电位器（老机型）或通过设置变频器的参数“低频补偿”（新机型）予以解决。调整时注意只要输出电流下来，频率能升上去即可，但也不可调整过大，以免过补偿。在运行过程中电流过大，会使电动机及变频器过电流而不能正常运行。

正常运行后，可根据运行电流将电动机保护仪的参数重新调整一下，以达到既能可靠保护又能正常运行的状态。调整完后，用变频运行。正常后，启动电动机保护仪。保护仪显示正常后，旋开“变频启动”旋钮（投入电动机保护仪保护，不旋开不起作用），柜子上的各种仪表指示都正常，调试完毕。

5.4.2 PowerSmart（或JZHICON-1A）系列高压变频器的调试

1．U/F曲线与基本压频系数

U/F曲线的设置是现场调试的关键，中频变频器提供恒转矩特性曲线和二次递增转矩特性曲线。变频调速系统为恒转矩特性时对应一次方程的U/F曲线有如下关系。

① 变频器输出电压：$U = AF + B$。

② U/F曲线的斜率：$A = (U - B)/F$。

③ 基底频率：$B_F = F_N (U_d / U_N)$。

④ 变频器输出电压：$U = U_d (F_N / BF)$。

其中：U为变频器输出电压；F为变频器输出频率；B为某U/F曲线的启动电压；B_F 为基本压频系数；F_N 为电动机的额定频率；U_N 为电动机的额定电压；U_d 为变频器的输入电源电压。

基底频率（B_F）是决定中频变频器逆变波形占空比的一个设置参数。当设置完B_F 值后，变频器的微处理器对B_F 值和运行频率进行运

算，可调整变频器输出波形的占空比来达到调整输出电压的目的。变频器一般默认以输入电压为额定电压来计算B_F值，当变频器的运行频率等于设置的B_F值时，变频器输出额定电压。如果运行频率超过B_F值，其输出电压仍保持额定电压，即进入恒功率区；当运行频率低于B_F值时，变频器的输出电压按比例同步下降，保持U/F曲线符合恒定转矩特性。

2．U/F曲线的现场设置

现场设置U/F曲线时，应综合考虑电动机负载情况和变频器运行情况等因素。一般对于负荷较轻、功率有富余的电动机，可选定一般U/F曲线，按电动机的额定电压、额定频率来设置B_F值，在降低频率使用时电动机按恒定转矩特性运行；对于功率富余量不大、负荷较重的电动机，在设置U/F曲线时，还需设置合适的“自动转矩补偿”参数，以提升电动机端电压，增大转矩；对于功率富余量不大、需降低频率使用的电动机，要选用低端补偿转矩较大的U/F曲线，并根据电动机的运行情况设置较大“自动转矩补偿”曲线来补偿转矩。同时，还应考虑到降低频率使用时，由于电动机在低频端的电阻、漏电抗影响不容忽视，若仍保持U/F为常数，则磁通将减小，进而减小电动机的输出转矩。所以，在设置基底频率时视需要还应适当降低B_F值，目的是相应提高电动机端电压，以提升电动机的转矩和带负载能力，避免电动机在运行中承受冲击负载时发生过电流和堵转故障。

设置加减速时间与设置的U/F曲线有关联。在设置加速时间和减速时间时，要注意其是以最高频率值为参考点的。设置加、减速时间的原则是，在变频器启动时不发生过电流跳闸、在变频器减速时不发生过电压跳闸的情况下，选择最小的时间设置值。一般电动机的加、减速时间设置在20～30s范围内。

3．电子热继电器保护功能的设置

电子热继电器（ET）保护功能的合理设置，可以达到保护电动机和变频器不被过大电流损坏的目的。电子热继电器的门限值定义为电动机和变频器两者额定电流的比值，用百分数表示，一般其调整范围为50%～100%。当变频器的输出电流达到电子热继电器的设置值

时，变频器内的微处理器根据通用电动机的参数和特性进行计算，智能地切断变频器的输出电压，从而起到保护电动机和变频器的作用。电子热继电器的保护功能具有反时限特性，即电动机的运行电流越大，电子热继电器的保护时间就越短。电子热继电器的最大门限值一般不会超过变频器的最大容许输出电流，也不会超出IGBT模块的安全电流范围。变频器的电子热继电器实质上就是具有反限时特性的智能过载限流器。

在变频器容量较大而电动机功率相对较小时，为了保护电动机不受过大电流作用而损坏，应将ET值设置得较小，例如设置为50%，以达到保护电动机的目的；在电动机和变频器功率匹配的情况下，一般ET值可设置为80%左右；当电动机负载较重，或者设置运行频率低于额定频率较多，使电动机的负载电流较大，存在着运行过电流跳闸故障时，在不超出电动机最大允许电流的前提下，应将电子热继电器的ET值设置为100%，以减少电动机运行过程中的过电流保护动作，但是不能取消电子热继电器的保护。必要时，在变频器输出端可外接热继电器，由于变频器的输出电流中有一定的谐波电流，有引起热继电器误动作的可能，所以在设置热继电器的动作电流时，应将动作电流调大10%左右。

4．高压变频器的上电、停电操作

变频器的上电和停电操作应按以下步骤进行。

① 送电前设备检查。变频器室的旁路柜、变压器柜、功率柜的柜门应关好，以防止人员或小动物触电，造成事故。如果要检查柜内状况，首先应确认进线端高压开关是分断的。

检查变频器室内的控制柜，其“工频/变频”转换旋钮应置于“变频”状态（对于直接工频运行电动机，应置于“工频”位置）。

变频器检查确认无误后，可以进行进线端高压开关（高压室内3#电动机断路器）的合闸操作。合闸成功后，旁路柜上的带电显示器将会被点亮。完成此操作后交流控制电源（380V和220V）已送到了控制柜内。

② 送控制电源。打开变频器控制柜的门，依次合上全部控制电源

开关，观察触摸屏是否带电。如不带电，应按UPS（在控制柜的后面）的启动按钮（位于UPS前面板上），此时触摸屏应得电亮起。待其进入“变频器监控界面”后，按复位按钮，听到控制柜内的小接触器动作声为正常现象。此时，变频设备将进入待机状态。

③ 变频器高压送电操作。按控制柜门上的“高压合闸”按钮，等待约5s后控制柜门上的“故障”指示灯熄灭，触摸屏上的“合闸”指示灯亮，表明合闸完毕。此时，变频设备将进入预启动状态。有时，会出现送不上高压的情况，通常是由变频器残余电压不一致造成的，等待数秒后再次按“高压合闸”按钮，一般就会成功，否则需重新进行“合控制电”过程操作。

5．预启动状态的参数设置

按触摸屏上的“远控”按钮，再按“确定”，然后将弹出“远控箱/DCS”选择框，按“远控箱”，此时触摸屏中的远控箱指示灯将被点亮，表示设置完成。设置预启动频率，按“设置”按钮，将弹出参数设置图框，在“P　参数号：”一栏中输入“50”，在“P　参数下传值：”一栏中输入预设置的频率，如输入“40”时表示预启动频率为40Hz。再按“P参数下设”按钮，确定即可。

当预启动状态的参数设置完成后，就可以进入工艺设备启动运行前的检查和准备阶段。待工艺设备允许启动运行条件具备后，可按下触摸屏上的“启动”按钮，变频器将使电动机软启动至预定频率。然后就可以按着“变频器的运行操作”进行加速、减速、停止等各项操作了。

对中频变频器的U/F曲线进行现场调试时，由于各种复杂因素的存在，常会出现U/F曲线设置不当的问题。U/F曲线设置失调后，无论失调的是电压还是频率，只要偏差过大，都会使电动机带负载特性改变，并产生过电流、过热甚至堵转等故障。空载电流与设置U/F曲线的偏差大小具有密切的函数关系。实践证明，空载电流和负载电流情况可基本反映U/F曲线的调试情况。在现场调试时，可根据空载电流和负载电流的变化状态，对失调的U/F曲线进行修正。根据磁路欧姆定律，电动机绕组电流为

$$I=\Phi R_m/N=UR_m/(4.44FN^2) \qquad (5\text{-}10)$$

由上式可知，绕组电流I与磁路磁通Φ、电源电压U、磁路磁阻R_m成正比例关系，与电源频率F成反比例关系。当电动机空载运行时，绕组电流I等于空载电流I_0；在电动机带负载时，绕组电流I由空载电流I_0和负载激励电流I_1组成。显然，电动机的磁路磁通Φ和U/F曲线的状态可以通过它的空载电流和负载激励电流反映出来。因此，空载电流和负载激励电流的状况能够基本反映U/F调试状态。在了解电动机额定空载电流的情况下，观察实际空载电流和负载激励电流的大小，就可判别U/F曲线比例失调的基本情况，从而修正U/F曲线，保证电动机在较好的U/F曲线特性下稳定工作。某电动机U/F曲线的失调情况及修正方法见表5-17。

表5-17 某电动机U/ F曲线的失调情况及修正方法

序号	U/F 曲线失调状况	故障现象	修正 U/F 曲线的方法
1	设置电压偏低（将 $U_N=350V$ 误设置为 $U_N=250V$）	空载电流小，过载能力差，工作电流偏大	升高电压，使空载电流恢复为额定值，再适量提升电压补偿转矩
2	设置频率偏小（$U_1=U_N$，$f_1=0.67f_N$）	空载电流偏大，带负载电流大，过载能力差	升高频率，将空载电流下降到略高于额定空载电流
3	频率设置严重失调（$U_1=U_N$，$f_1=0.5f_N$）	空载电流达 13.2A，常出现过电流、过热或堵转现象	升高频率，使空载电流恢复为额定值，观察带负载能力，然后再细调 U/F 曲线
4	电压、频率同时偏小（U/F=1）（$U_1=0.5U_N$，$f_1=0.5f_N$）	空载电流稍小，带负载能力弱，常出现过电流或堵转现象	提升频率和电压，补偿低端电压，补偿转矩，按 1～3 项再调整 U/F 曲线

对于变频器刚启动过电流保护就动作的故障，在调整加速时间（ACC1）无明显好转时，应检查U/F曲线的设置状况。每条U/F曲线都有不同的启动电压，当启动频率和启动电压严重失调时，在启动过程中就容易发生过电流保护动作。对此，可以根据U/F曲线的U、F参数来设置启动频率。例如选择U/F曲线的B_1为电源电压的12%，因此，启动电压为

$$U_{B1}=B_1\times 380=12\%\times 380=45.6\text{（V）}$$

按恒转矩特性的U/F曲线可得启动频率为

$$F_1=(F_N U_{B1}/U_N)\times 80\% \qquad (5\text{-}11)$$

式中：B_1是U/F曲线的相应电压百分数，乘以80%是减低启动频率，相对于提高启动电压值，以补偿低端启动转矩。

6．变频器高压停电操作

变频器高压停电操作过程是“合变频器高压”的反操作。一般情况下，在按了触摸屏上的“停止”按钮且电动机完全停止转动时，才会按“高压分闸”按钮。这是将变频设备转到待机状态的操作，会使变压器和功率柜停电，但旁路柜和控制柜依然带电。

如果只想暂时停止输出或暂时停止负载的运行，一般无须按下“高压分闸”按钮，只需按触摸屏上的“停止”按钮即可。如果计划停止时间较长，可以按此钮分断变频器的高压断路器，以节约电能。如果分断时间较长且空气湿度较大，当再次合上变频器高压时，应等待几分钟再启动，以使变频器功率单元的预热除湿工作结束。

7．紧急停车

在变频器正常运行中，如果负载有特殊情况发生，可按“紧急停车”按钮。此操作仅在紧急情况下才允许使用，不应过频地使用此功能。

8．工频旁路运行

当出现故障时，变频器自动转入工频旁路运行，此时应及时将控制柜门上的“工频/变频”转换开关打至“工频”位置。当需要停止工频旁路运行时，应按下操作室内远控柜的“高压分闸”按钮，请不要在电动机旁直接停车，这会使变频成套装置整体掉电，增加了上电过程的复杂性。

9．变频器的运行操作

变频器处于正常运行状态下时，可按如下步骤进行操作。

① 启动：在预启动状态下，按触摸屏上的“启动”按钮，将使变频器驱动电动机缓慢运转至设置频率。需要注意的是，必须在无故障告警的条件下，此按钮才能起作用。

② 加速：每按一次触摸屏上的“加速”按钮，变频器的输出频率上升1Hz（在变频调速运行中，此按钮才能起作用）。也可以通过P50直接设置为所要达到得频率值，具体方法为：在触摸屏上按“设置”按钮，将弹出参数设置图框，在“P　参数号：”一栏中输入“50”，在“P参数下传值：”一栏中输入预置的频率值，再按“P参数下设”按钮，确定即可。

③ 减速：按触摸屏上的“减速”按钮，变频器的输出频率将下降，其步长已经设置为1Hz（在变频调速运行中，此按钮才能起作用）。也可以通过P50直接设置到所要达到的频率值，具体方法同上面的“加速”部分。

④ 停止：按触摸屏上的“停止”按钮，变频器的输出频率将缓慢下降，直至停止输出。此时，变频器将进入预启动状态。对于停止运行的变频器，除检修维护需要分断高压断路器外，一般无须分断高压断路器，可以重新按“启动”按钮启动变频器（待电动机完全停止后方可再次启动变频器）。变频器停止运行后，虽停止了输出，但自身仍带电，因此，决不能打开变频器柜门，否则会有触电的危险。

5.4.3 PI97G.V4普传系列变频器的调试

1．操作键盘

PI97G.V4普传系列变频器面板按键的功能如图5-37所示。

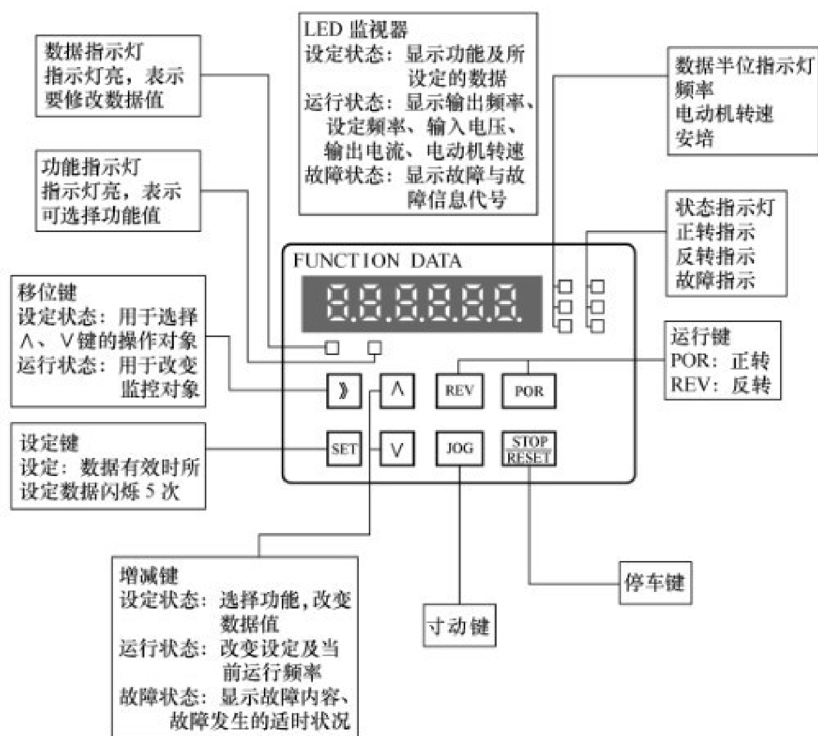


图5-37 PI97G.V4普传系列变频器面板按键功能

2．功能参数说明

（1）运行监视

① 输出频率：运行时，显示当前变频器的输出频率。

② 设置频率：显示速度设置方式下所设置的频率。

③ 输出电流百分比：显示负载电流的百分比。显示数值的计算方法为：变频器内部电流传感器检测的数值占变频器额定输出电流的百分比即为输出电流百分比。

④ 输出电流实际值：显示负载电流的实际值。

⑤ 输入电压：显示输入侧电源的实际电压，显示数据是通过检测直流母线上的电压计算得到的。在有能量回馈的时候，显示的数据会比实际输入电压高。

⑥ 电动机转速：显示电动机的线速度。

以上运行监视具有记忆功能，可以在运行状态下通过参数设置器中的“＞＞”选择适当的运行监视参数，下次上电运行时仍然保持上次设置好的运行监视参数。

（2）基本参数

① 控制方式设置。

0：键盘调速 ＋ 键盘运行。操作键盘中的FOR、REV键控制正、反转运行，操作键盘中的▲、▼键进行调速。

1：多段速度 ＋ 端子运行。端子中的FOR、REV与COM短接，控制正、反转运行；外接控制端子SS1、SS2、SS3与COM短接，通过编码组合实现多段速度。

2：模拟输入 ＋ 端子运行。端子中的FOR、REV与COM短接，控制正、反转运行，依据模拟输入信号进行调速。

3：键盘调速 ＋ 端子运行。端子中的FOR、REV与COM短接，控制正、反转运行；操作键盘中的▲、▼键进行调速。

4：模拟输入 ＋ 键盘运行。操作键盘中的FOR、REV键控制正、反转运行，依据模拟输入信号进行调速。

② 功能参数#58：选择适当的模拟输入信号。7.5kW以下的机型在出厂前，此参数设置为4：键盘中的FOR、REV键控制运行，面板电位器进行调速（面板电位器连接端子V1、V2、V3）。对于11kW以上的机型，此参数标准出厂值设置为0，键盘中的FOR、REV键控制运行，▲、▼键用于调速。

③ 最大频率设置：变频器调速所允许输出的最大频率值，应考虑电动机的调速特性及能力。

④ 上限频率设置：即变频器输出频率的上限值，当频率设置值高于上限频率时，运转频率为上限频率。

⑤ 下限频率设置：即变频器输出频率的下限值，当频率设置值低于下限频率时，运转频率为下限频率。

启动处于停止状态的电动机时，变频器输出从0Hz开始按照一段加速时间向着设置的频率加速。电动机停止运行时，变频器从设置的频率开始按照减速时间向0Hz作减速。

⑥ 一段加速时间设置：从0Hz到最大频率（#11）的加速时间，如图5-38所示。

⑦ 一段减速时间设置：从最大频率到0Hz的减速时间，如图5-38所示。

⑧ 偏置频率设置：当频率设置是由操作键盘电位器或端子模拟输入实现时，最小设置信号对应的输出频率为偏置频率，可用于实现较精确的频率控制。

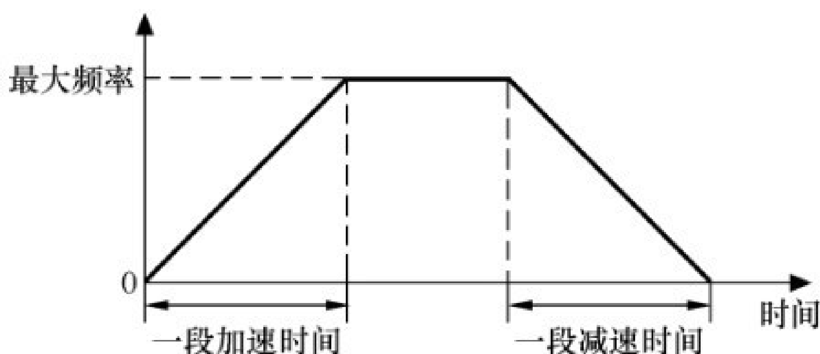


图5-38 一段加、减速时间

⑨ 频率设置信号增益设置：当频率设置是由操作键盘电位器或端子模拟输入实现时，最大输出频率标么值与最大输出频率对应的频率设置信号标么值的比值为频率增益，可用于频率设置信号的补偿。

⑩ 转矩提升设置：总共提供21种U/F特性曲线供选用，如图5-39所示。其中0～10适用于恒转矩类负载，11～20适用于平方递减转矩负载。

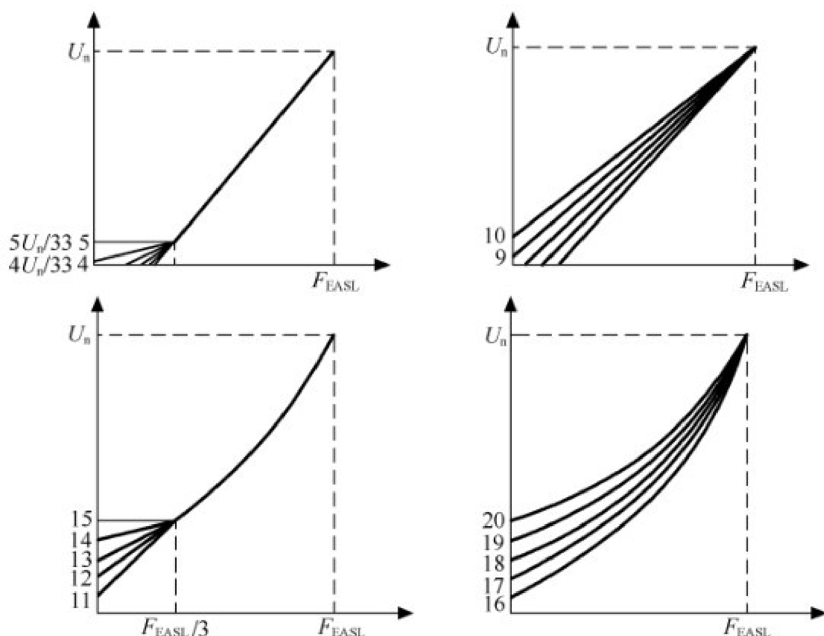


图5-39 U/F特性曲线

⑪ 电子热过载继电器设置：为预防自冷式电动机在低速运转时发生过热现象，可通过电子热过载继电器对电动机进行保护。此参数按运行电流与变频器额定电流的百分比进行设置。减小此参数的值，可以限制变频器允许的输出功率。

⑫ 寸动频率设置：寸动加速时间出厂值设置为 2.0s，寸动减速时间出厂值设置为 2.0s，寸动加、减速曲线如图5-40所示。端子寸动指令具有优先指令权，即在任何调速方式下，一旦寸动指令有效时，立即以当前调速方式下的加速时间由当前运行频率加、减速到寸动频率。键盘寸动指令不具有优先权。

⑬ 停止时直流制动起始频率设置：变频器减速到此频率时，停止输出PWM波形，开始输出直流制动波形。

⑭ 直流制动电压设置：此参数用于设置直流制动时输入电动机直流制动电压的基准值。此参数值以变频器额定电压为基准，所以当设置此参数时，务必由小慢慢增大。

⑮　停止时直流制动时间设置：指停止时直流制动电压持续的时间，如图5-41所示。

⑯　1～7段速度设置；分别设置7段速度运行的频率，通过端子SS1、SS2、SS3与COM短接进行编码组合，实现7　段速度。端子多段速度定义如下：与 COM 短接为 ON，断开为OFF，见表5-18。

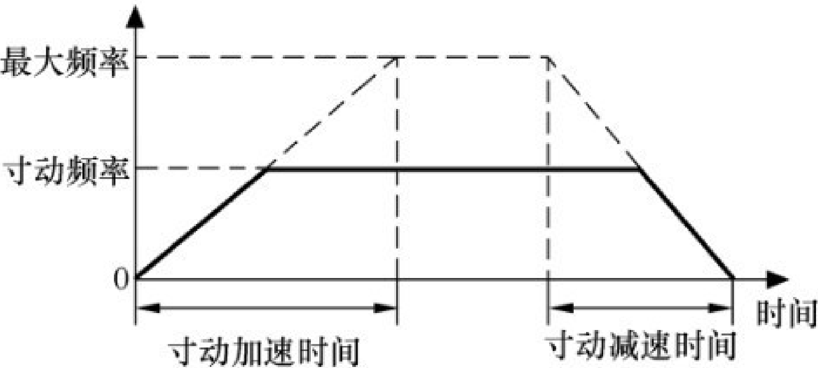


图5-40 寸动加、减速曲线

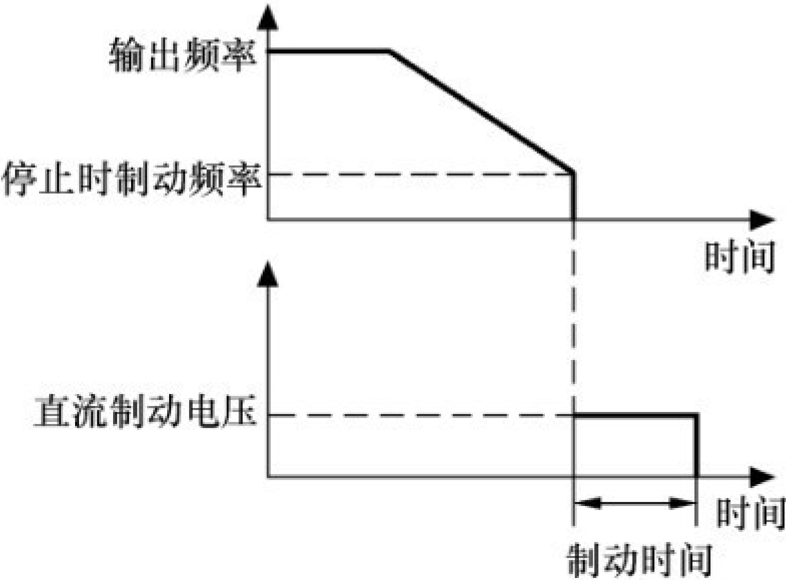


图5-41 停止时直流制动电压持续的时间

表5-18 1～7段速度设置

端子速度 / 端子符号	1×	2×	3×	4×	5×	6×	7×
SS1	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
SS2	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
SS3	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON

⑰ 7段加、减速时间设置：分别设置7段速度的加、减速时间，加速由该段速度的加速时间决定，减速则由该段速度的减速时间决定，但并不是实际所需时间，如图5-42所示。

⑱ 跳跃频率1、2、3及跳跃频率范围设置：在运转中要避免机械系统固有振动点导致共振时，可使用跳频方式跳过此共振频率。最多可设置3个共振频率点执行跳跃，跳跃频率范围是以跳跃频率为基准向上和向下跳过的频率范围。例如：跳跃频率1为40.0Hz，跳跃范围为3.0Hz，如图5-43所示。

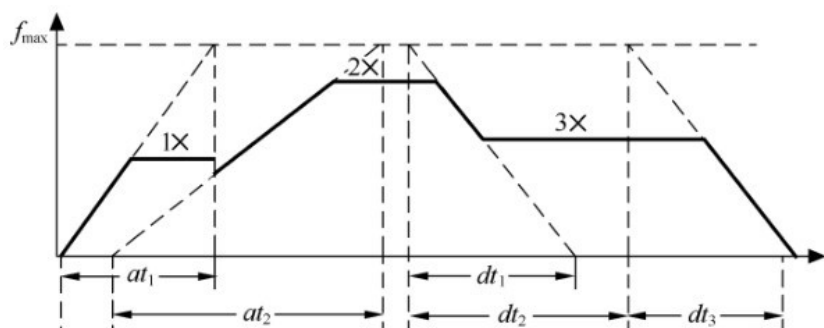


图5-42 多段加、减速时间

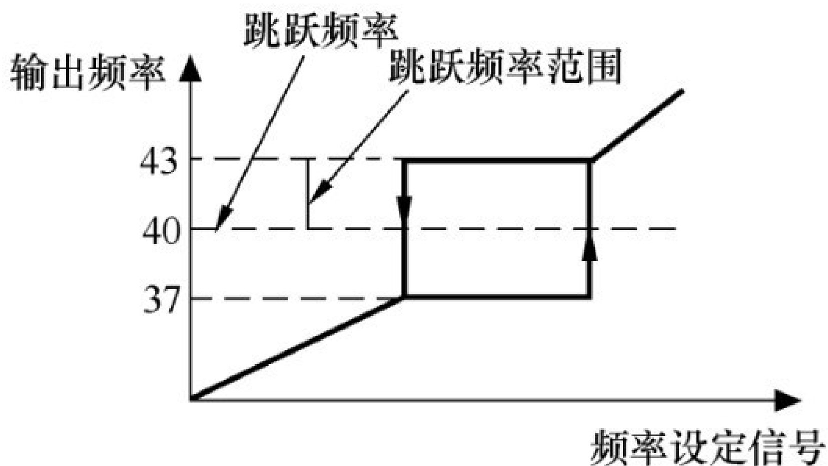


图5-43 跳跃频率运行曲线

（3）辅助参数

① 载波频率范围设置：此功能主要用于改善变频器运转中可能出现的噪声及振动现象。载波频率较高。此时电流波形比较理想，低频时转矩大，并且电动机噪声小，在需要低频输出大转矩及静音的场所非常适用。但此时主元器件的开关损耗较大，整机发热较多，效率下降。与此同时，电磁干扰较大。以高载波频率运行时的另一问题是电容性漏电流增大，装有漏电保护器时可能引起其误动作，也可能引起过电流保护动作。

当以低载波频率运行时，则与上述现象大体相反，过低的载波频率将引起低频运行不稳，转矩减小甚至出现振荡。不同的电动机对载波频率的反应也不相同，最佳的载波频率需按实际情况进行调节而获得。但随着电动机容量的增大，载波频率应该选得较小。

② 频率水平检测设置：当变频器输出频率到达或超过此参数所设置的频率时，输出端子SPA输出导通。

③ 加减速模式设置：6P197GV4变频器可提供4种（直线形、双S形、S形、倒L形）加减速模式，以满足不同负载的使用需要。

④ 频率表调整设置：用于校正频率表表头。

⑤ 输出电压设置：本功能用于调整输出电压，以适应不同U/F特

性的需要。由于系统具有自动电压调整功能（AVR），微处理器自动检测变频器直流母线电压并进行实时优选处理，故当电网电压波动时，输出电压变动很小，其U/F特性始终接近额定输入电压时的设置状态。若电网电压低于此设置值，则输出电压只能正比于输入电压。

⑥ 电动机额定电压设置：此参数用于设置标准输出电压，用户可根据驱动电动机的额定电压设置此参数。在应用中应以变频器额定输入电压为参考设置此参数，一般不要修改，输出电压可通过功能参数（#54）进行修改。

⑦ 变频器额定输出电流设置：用以调整#03输出电流实际值，输出电流实际值 ＝ 变频器额定输出电流 × 输出电流百分比。此参数在出厂时不确定，如要显示#03输出电流实际值时，应设置此参数值。

⑧ 机械速度比率因子设置：此比率因子用于调整电动机转速（#05）的显示运行，监视中的#05项电动机转速 ＝ 运行频率 × 机械速度比率因子。

⑨ 模拟输入选择设置：1为选择外部端子V2，输入电压信号0～12V；2为选择外部端子I1，输入电流信号4～20mA；3为选择外部端子I2，输入电流信号0～20mA。

⑩ 反转禁止设置：0表示此功能无效，1表示此功能有效。此参数设置为禁止时，外部端子的“REV”反转指令与操作键盘反转指令均无效。

⑪ 上升/下降控制设置：此功能与多段速度一样，用于SS1、SS2端子控制运转状态。此功能有效时，多段速度运转无效。其中SS1为上升控制，SS2为下降控制。上升、下降时间按一段加、减速时间（#15、#16）设置，输出的最大频率由功能号（#11）设置。此控制无反转功能，其方向可通过FOR、REV两端子进行控制。

⑫ 断电转速追踪选择设置：0为断电后重新上电不追踪；1为断电后只要上电，电动机处于运转中，就继续进行转速追踪至断电前的转速。变频器在运转中瞬时断电后，在内部储能元件仍然保持数码显示时恢复供电。不论此参数设置何值，此时变频器都会追踪运转。

⑬ 电流限幅功能设置：0表示此功能无效，1表示此功能有效。

若此功能设置有效，当变频器执行加速与稳速运行指令时，由于加速过快或电动机负载过大，变频器输出电流会急速上升，超过额定电流的140%时，变频器会停止加速（输出频率保持固定）。当电流低于额定电流的 140%时，变频器才继续加速。按设置值运转时，若电流过大，则自动降频，以保证过电流保护不动作，当电流低于标准值时频率回升到设置值运转。

⑭ 过电压失速保护设置：0表示此功能无效，1表示此功能有效。若此功能设置有效，当变频器减速时，由于电动机负载惯量的影响，电动机会产生再生电压并送至变频器内部，导致直流侧电压升高超过最大允许值。因此，当启动过电压失速保护功能有效时，若检测到直流侧电压过高，变频器就会停止减速（输出频率保持不变），直到直流侧电压低于设置值时，变频器才会再执行减速指令。对于B机型及外接再生制动单元时，此功能应设置为“0”。

⑮ 自由停车再启动功能设置：0表示此功能无效，1表示此功能有效。此功能设置有效时，按STOP键实现自由停车，再按原方向运行键时（反方向指令无效），变频器按原方向追踪启动至原设置频率。但再按一次STOP键，则解除追踪功能，执行停车指令。

⑯ 能耗制动选择设置：0表示安全式制动，只在变频器减速过程中且检测到直流母线高压超过预定值时实行能耗制动；1 表示在变频器任一运行过程中，此功能都有效。当变频器运行于急减速状态或负载波动较大时，可能出现过电压或过电流。这种现象在负载惯量相对较大时更容易发生。变频器内部检测到直流母线电压超过一定值时，输出制动信号，通过外接制动电阻实行能耗制动。应用时应选择带制动功能选件的机型来应用此功能。

3．出厂值设置与参数设置

① 恢复出厂值设置：此参数设置有效时，所有功能参数均恢复为出厂前的设置值并记忆，停电时仍不消失。

② 参数锁定设置：此参数设置有效时，所有功能参数（除速度设置外）均不能修改。

4．参数设置实例

将#15一段加速时间出厂值10.0s修改为15.0s，参数设置流程如图5-44所示。

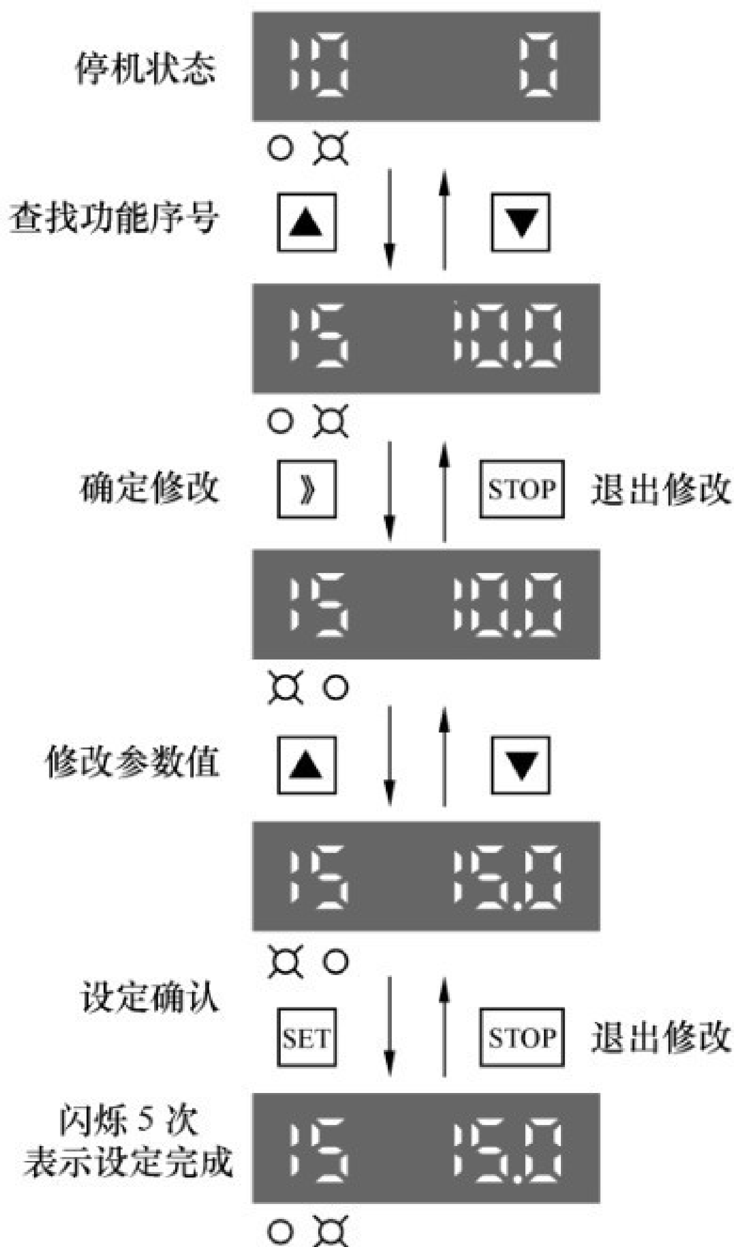


图5-44 参数设定流程

5．试运行

在没有将电源连接到变频器之前，确认交流输入电源电压是否在变频器额定输入电压范围之内。将电源连接到变频器的 R、S、T 输入端（单相输入时请接入 R、S 端），选择适当的运转控制方式。例如，键盘调速 ＋ 键盘运行，频率指令由操作键盘上的▲、▼键给定，由操作键盘上的FOR、REV键控制正、反转（#10 ＝ 0，15kW以上出厂值设置）。

又如，模拟输入 ＋ 端子运行，频率指令由端子V3给定，运行由POR、REV键控制（#10 ＝ 2， #58 ＝ 1）。

再如，模拟输入 ＋ 键盘运行，频率指令由端子V3给定，由POR、REV键控制正、反转（#10 ＝ 4， #58 ＝ 1）。

确认最低与最高输出频率设置，确认加、减速时间。接上电动机以低速运转并检查电动机的运转方向，检查所有操作过程中的显示及输出是否正确。

6．现场调试中常见问题的处理

（1）送电后按启动键RUN后没反应

电动机不启动，出现这种情况时要立即按“STOP”键并检查下列各项。

① 再次确认线路连接的正确性。

② 再次确认所确定的代码（尤其对与启动有关的部分）。

③ 运行方式设置正确与否。

④ 测量输入端R、S、T的三相电压。

⑤ 测量P、N间的电压值。

⑥ 测量开关电源各组电压值。

⑦ 检查驱动电路插件的接触情况。

⑧ 检查面板电路插件的接触情况。

⑨ 全面检查后方可再次通电。

（2）空载（或轻载）过电流保护动作

变频调速系统在空载（或轻载）运行时，其工作电流是不大的，过电流保护不应动作。造成过电流保护动作的原因往往是补偿电压过

高，启动转矩过大，使电动机励磁饱和严重，致使励磁电流畸变严重，造成尖峰电流过大而发生过电流保护动作。这时应适当减小补偿电压值或恢复出厂值，或置于0位。

（3）启动后在低频（≤20Hz）时过电流保护动作

电动机启动后在低频时发生过电流保护的原因是由于过补偿，启动转矩大，启动时间短，保护值过小（包括过电流值及失速过电流值）。这时可对补偿启动转矩、启动时间、过电流参数进行适当的调整或减小基底频率。

（4）电动机启动困难或启动不起来

对于通用设备，由于转动惯量过大，阻转矩过大，在重载启动时容易造成电动机启动困难，如大型风机、水泵等常发生类似情况，可采取如下方法解决。

① 减小基底频率。

② 适当提高起始频率。

③ 适当提高启动转矩。

④ 减小载波频率值（2.5～4kHz），增大有效转矩值。

⑤ 缩短启动时间。

⑥ 提高保护值。

⑦ 使负载由带载启动转化为空载或轻载，对于风机可关小进口风门。

（5）使用变频器后电动机振动加大，噪声增大

在排除通风及机械安装等问题后，其原因主要是变频器载波频率设置值过低，可通过提高载波频率值的方法解决。

（6）电动机堵转

出现电动机堵转时要立即按停止键“STOP”，并检查以下各项。

① 再次确认线路的正确性。

② 再次确认所设置的参数（尤其是与启动有关的部分）。

③ 确认变频调速系统运行方式的设置。

④ 测量输入端R、S、T的三相电压。

⑤ 测量变频器直流环节P、N电压值。

⑥ 测量开关电源各组电压值。

⑦ 检查驱动电路插件的接触情况。

⑧ 检查面板电路插件的接触情况。

⑨ 全面检查后方可再次通电。

在调试过程中一旦发生参数设置类故障，变频器就不能正常运行，一般可根据说明书修改参数。简单的方法是将变频器的所有参数恢复为出厂值，然后按规定步骤重新设置。对于每一种型号的变频器，其参数恢复方式也不相同，操作时应按该变频器的操作技术指导书进行。

第6章 变频调速系统的通信网络与现场总线

- 变频调速系统的通信网络
- 变频器与PLC通信案例

6.1 变频调速系统的通信网络

6.1.1 通信网络模型与通信方式

在自动化领域，随着分布式控制系统的发展，迫切需要一种总线能适合远距离的数字通信。在一个控制系统中，常常由几台、几十台甚至更多的变频器组成各种形式的分布式调速系统，分站（变频器）独立完成本地子系统的功能，控制站负责调速系统的管理。所有的变频器连接成网络互通信息以完成以整体目标为宗旨的相互协调配合，达到更高的控制水平和管理层次。系统的通信因此就成为控制系统协调一致的关键环节。对于变频调速系统通信网络的设计，面对工业现场严重的干扰，提高通信网络的抗干扰能力无疑是非常重要的事情。

随着变频器的不断发展和推广应用，越来越多的场合需要对变频器进行网络通信和监控。为满足应用的需要，许多变频器都带有现场总线接口，具有通信功能。RS-485网络由于具有设备简单、容易实现、传输距离较远、维护方便等优点而被许多变频器厂家所采用。

1．变频调速系统通信网络的开放系统互联模型

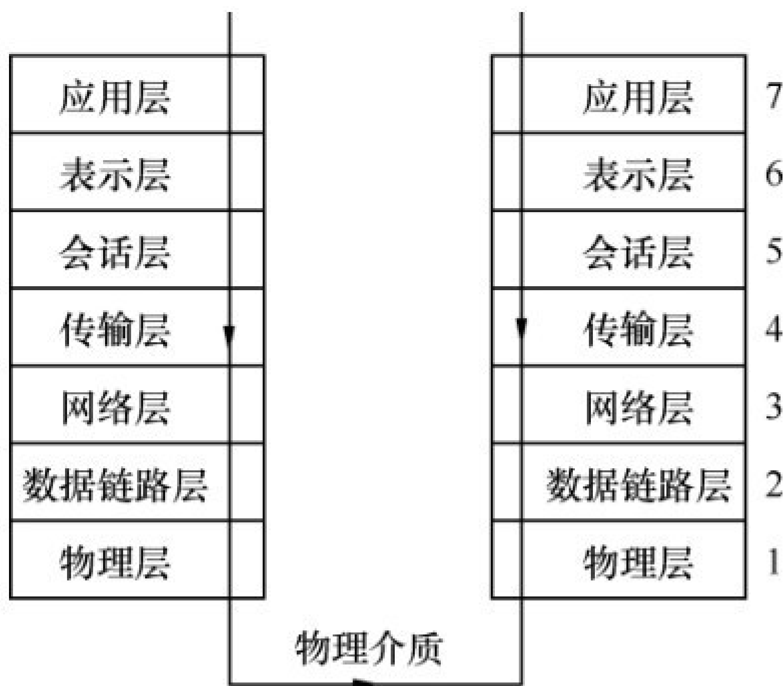


图6-1 开放系统互联模型

如果没有一套通用的计算机网络通信标准，要实现不同厂家生产的智能设备之间的通信，将会付出很大的代价。国际标准化组织ISO提出了开放系统互联模型OSI，作为通信网络国际标准化的参考模型，它详细描述了软件功能的7个层次，如图6-1所示。

① 物理层。物理层的下面是物理介质，如双绞线、同轴电缆等。物理层为用户提供建立、保持和断开物理连接的功能，RS-232C、RS-422A、RS-485等就是物理层的标准接口。

② 数据链路层。数据以帧为单元传送，每一帧包含一定数量的数据和必要的控制信息，如同步信息、地址信息、差错控制和流量控制信息。数据链路层负责在两相邻接点间的链路上实现差错控制、数据成帧、同步控制等。

③ 网络层。网络层的主要功能是报文包的分段、报文包阻塞的处理和通信子网内路径的选择。

④ 传输层。传输层的信息传送单元是报文（Message），主要功能是流量控制、差错控制、连接支持。传输层向上一层提供一个可靠的端到端（End-to-End）的数据传送服务。

⑤ 会话层。会话层的功能是支持通信管理和实现最终用户应用进程的同步，按正确的顺序收发数据，进行各种对话。

⑥ 表示层。表示层用于应用层信息内容的形式变换，如数据加密/解密、信息压缩/解压缩和数据兼容，把应用层提供的信息变成能够共同理解的形式。

⑦ 应用层。应用层作为 OSI 的最高层，为用户的应用服务提供信息交换，为应用接口提供操作标准。

2．变频调速系统的网络通信方式

（1）变频器的并行通信与串行通信

并行数据通信是以字节或字为单位的数据传输方式，需要8根或16根数据线、1根公共线和若干数据通信联络用的控制线。并行通信的传输速度快，但是传输线的根数多，成本高，一般用于近距离数据的传送，如打印机与计算机之间的数据传送。

串行数据通信是以二进制的位（bit）为单位的数据传输方式，每次只传送一位。除了地线外，在一个数据传输方向上只需要一根数据线，这根线既作为数据线又作为通信联络控制线，数据和联络信号在这根线上按位进行传输。串行通信需要的信号线少，最少的只需要两三根线，但是数据传送的效率较低，适用于距离较远、传输速率要求不高的场合。计算机和变频器都备有通用的串行通信接口，工业控制中一般使用串行通信方式。

在变频器及其网络中并行通信一般发生在变频器的内部，它指的是多处理器变频器中多台处理器之间的通信，以及变频器中CPU单元与智能模板CPU之间的通信。在多处理器变频器中，多台处理器之间的通信是在协处理器的控制与管理下，通过共享存储区实现的；CPU单元与智能模板CPU之间的通信则是经过背板总线（公用总线）通过双口RAM实现的。

串行通信传输速率的单位是比特每秒，其符号为bit/s。常用的标

准传输速率为300bit/s、600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s和19200bit/s等。不同的串行通信网络的传输速率差别极大，有的只有数百比特每秒，高速串行通信网络的传输速率可达100Mbit/s。

在串行通信中，通信的速率与时钟脉冲有关，接收方和发送方的传送速率应相同，但是实际的发送速率与接收速率之间总是有一些微小的差别。如果不采取一定的措施，在传送大量的信息时，将会因积累误差造成错位，使接收方收到错误的信息。为了解决这一问题，需要使发送过程和接收过程同步。按同步方式的不同，可将串行通信分为异步通信和同步通信。

（2）变频器的异步通信与同步通信

异步通信的信息格式如图6-2所示，发送的数据字符由1个起始位、5～8个数据位、1个奇偶校验位（可以没有）和若干停止位（1位、1位半或2位）组成。在通信开始之前，通信的双方需要对所采用的信息格式和数据的传输速率作相同的约定。接收方检测到停止位和起始位之间的下降沿后，将它作为接收的起始点，在每一位的中点接收信息。由于一个字符包含的位数不多，即使发送方和接收方的收发频率略有不同，也不会因两台设备之间的时钟周期的误差积累而导致错误，异步通信传送附加的非有效信息较多，它的传输效率较低，一般用于低速通信。变频器一般采用异步通信方式。

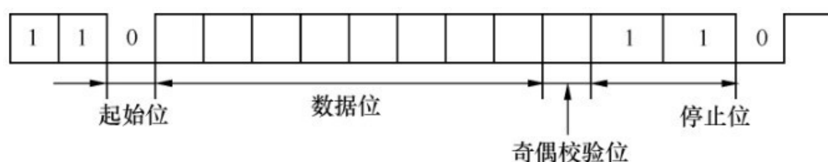


图6-2 异步通信的信息格式

同步通信以字节为单元（1个字节由8位二进制数组成），每次传送1～2个同步字符、若干个数据字节和校验字符。同步字符起联络作用，用它来通知接收方开始接收数据。在同步通信中，发送方和接收方要保持完全的同步，这意味着发送方和接收方应使用同一时钟脉

冲。在近距离通信时，可以在传输线中设置一根时钟信号线，可通过调制解调方式在数据流中提取同步信号，使接收方得到与发送方完全相同的接收时钟信号。

由于同步通信方式不需要在每个数据字符中加起始位、停止位和奇偶位，只需要在数据块（往往很长）之前加一两个同步字符，所以传输效率高，但是对硬件的要求较高，一般用于高速通信。

（3）变频器的单工通信与双工通信

单工通信方式只能沿单一方向发送和接收数据。双工通信方式的信息可沿两个方向传送，每一个站点既可以发送数据也可以接收数据。双工通信方式又分为全双工和半双工两种方式。

① 全双工方式。数据的发送和接收分别使用两根或两组不同的数据线，通信的双方都能在同一时刻接收和发送信息，这种传送方式称为全双工方式，如图6-3所示。

② 半双工方式。用同一根线或同一组线接收和发送数据，通信的双方在同一时刻只能发送数据或接收数据，这种传送方式称为半双工方式，如图6-4所示。

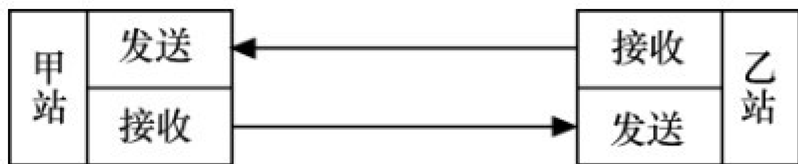


图6-3 全双工方式



图6-4 半双工方式

6.1.2 通信接口

1．变频器串行通信接口标准

计算机与计算机或计算机与变频器之间的数据传送可以采用串行通信和并行通信两种方式。由于串行通信方式所用线路少，成本低，特别是在远程传输时避免了多条线路特性的不一致，因而被广泛采用。在串行通信时，要求通信双方都采用一个标准接口，使不同的设备可以方便地连接起来进行通信。RS-232C 接口（又称EIARS-232C）是目前最常用的一种串行通信接口。它是在1970年由美国电子工业协会（EIA）联合贝尔系统、调制解调器厂家及计算机终端生产厂家共同制定的用于串行通信的标准。它的全名是“数据终端设备（DTE）和数据通信设备（DCE）之间串行二进制数据交换接口技术标准”，该标准规定采用一个 25针的 DB25 连接器，对连接器的每个引脚的信号内容加以规定，还对各种信号的电平加以规定。

（1）RS-232C

RS-232C采用负逻辑，用－5～－15V表示逻辑状态“1”，用＋5～＋15V表示逻辑状态“0”。RS-232C的最大通信距离为15m，最高传输速率为20kbit/s，只能进行一对一的通信。RS-232C可使用9针或25针的D型连接器，变频器一般使用9针的连接器，距离较近时只需要3根线，如图6-5所示。⑦脚为信号地。RS-232C使用单端驱动单端接收电路，如图6-6所示。RS-232C容易受到公共地线上的电位差和外部引入的干扰信号的影响。

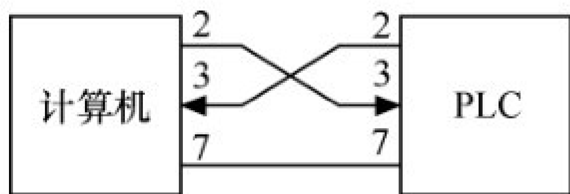


图6-5 RS-232的信号连接

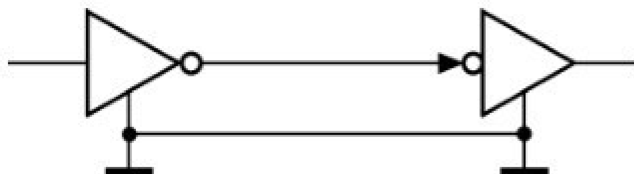


图6-6 单端驱动单端接收电路

（2）RS-422A

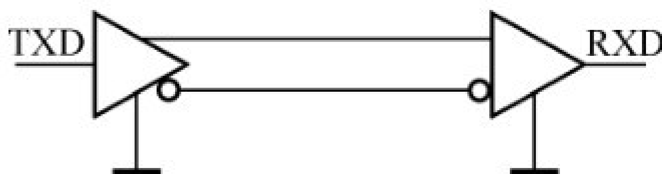


图6-7 平衡驱动差分接收电路

美国的EIC（电子工业联合会）于1977年制定了串行通信标准RS-499，对RS-232C的电气特性作了改进。RS-422A是RS-499的子集，它采用平衡驱动差分接收电路（见图6-7），从根本上取消了信号地线。平衡驱动器相当于两个单端驱动器，其输入信号相同，两个输出信号互为反相信号。图6-7中的小圆圈表示反相。外部输入的干扰信号是以共模方式出现的，两根传输线上的共模干扰信号相同，因接收器是差分输入，共模信号还可以互相抵消。只要接收器有足够的抗共模干扰能力，就能从干扰信号中识别驱动器的有用信号，从而克服外部干扰的影响。

RS-422A在最大传输速率（10Mbit/s）时允许的最大通信距离为12m，传输速率为100kbit/s时最大通信距离为1200m。一台驱动器可以连接10台接收器。

（3）RS-485

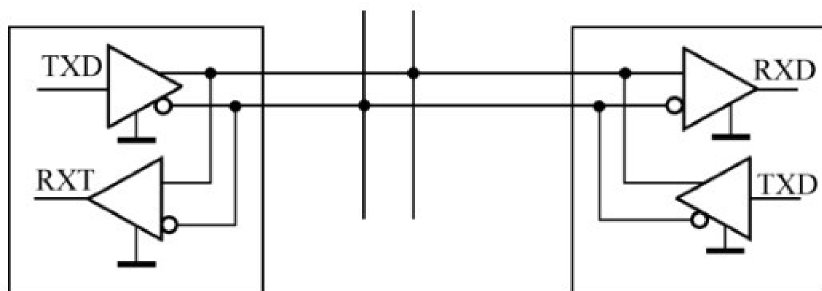


图6-8 由RS-485通信接口和双绞线组成的串行通信分布式网络

RS-485是RS-422A的变形。RS-422A采用全双工方式，两对平衡差分信号分别用于发送和接收。RS-485为半双工方式，只有一对平衡差分信号线，不能同时进行发送和接收。使用 RS-485 通信接口和双绞线可组成串行通信分布式网络，如图 6-8 所示。系统中最多可有32个站，新的RS-485接口器件已允许连接128个站。

2．RS-485与RS-232C接口比较

由于RS-232C接口标准出现得较早，难免有不足之处，主要有以下4点。

① 接口的信号电平值较高，易损坏接口电路的芯片，又因为与TTL电平不兼容，故需使用电平转换电路方能与TTL电路连接。

② 传输速率较低，在异步传输时为20kbit/s。

③ 接口使用一根信号线和一根信号返回线构成共地的传输形式，这种共地传输容易产生共模干扰，所以抗噪声干扰能力较差。

④ 传输距离有限，最大传输距离的标准值为50英尺（15.24m）。

针对 RS-232C 的不足，开发了一些新的接口标准，RS-485 就是其中之一，它具有以下特点。

① 两线间的电压差为2～6V时表示逻辑“1”，两线间的电压差为－6～－2V时表示逻辑“0”。

② 接口信号电平比RS-232C降低了，就不易损坏接口电路的芯片，且该电平与TTL电平兼容，可方便与TTL电路连接。

③ RS-485的最高数据传输速率为10Mbit/s。

④ RS-485 接口是平衡驱动器和差分接收器的组合，抗共模干扰能力强，抗噪声干扰性能好。

⑤ RS-485接口的最大传输距离标准值为4000英尺（1219.2m），RS-232C接口在总线上只允许连接1个收发器，即单站能力。而RS-485接口在总线上允许连接多达128个收发器，即具有多站能力。这样用户可以利用单一的RS-485接口方便地建立起设备间的通信网络。

RS-485接口由于具有上述优点，已成为首选的串行接口。因为由

RS-485接口组成的半双工网络一般只需两根连接线，所以，RS-485接口均采用屏蔽双绞线传输信号。RS-485 接口连接器采用DB-9的9芯插头座，智能终端的RS-485接口采用DB-9（孔），与键盘连接的键盘接口RS-485采用DB-9（针）。

在工业环境中，一般希望用最少的信号线完成通信任务，所以，在变频器通信网络中串行总线 RS-485 应用得比较普遍。有些现场总线也是建立在 RS-485 的基础之上的。RS-485 支持在其总线上挂 32个节点，每个节点有其自身的地址。RS-485 同样也有传输速率和传输距离的限制，这与分支的长度有关。通过使用中继器（Repeater），可使物理层的拓扑结构不受单一电缆段上的节点数和传输距离的一般限制。RS-485 系统使用中继器后具有以下优点。

① 可使用混合树型拓扑结构，消除了对分支长度最短不应小于5m的限制。

② 每个总线网段都是电隔离的。每个中继器可使网段的长度加倍，若再将中继器加以串接，可使通信距离增加得更多。

③ 整个总线网络的可靠性得到改善。某个网段短路并不会影响其他设备，仅有部分总线不能工作。

④ 加一个中继器允许挂更多的节点，用n个中继器可挂n × 32个节点。每个中继器实际上就是一个RS-485系统。

⑤ 可取得更高的数据传输速率。由于数据传输速率与传输距离有关，采用了中继器以后，长距离的网络再也不是传输速率低的网络，数据传输速率可达1.5Mbit/s。表6-1给出了RS-485系统中传输速率、总线长度和串接中继器之间的关系。

表6-1 传输速率、总线长度和串接中继器之间的关系

传输速率（kbit/s）	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500
网段长度（m）	1200	1200	1200	1200	1200	1200
最多可串接网段	9	9	9	5	5	3
最长总线距离（km）	12	12	12	6	2.4	0.8

接口工作方式	双端	单端	驱动器断电输出阻抗（Ω）	在−0.25～+6V之间为100	300
最大电缆距离（m）	1200	15	驱动器输出电流（mA）	±150	±500
最大传输速率（Mbit/s）	10	0.02	接收器输入阻抗（kΩ）	≥4	3～7
驱动器开路输出电压（V）	两输出间为6	±25	接收器输入阈值（V）	−0.2～+0.2	−3～+3
驱动器有载输出电压（V）	两输出间为2	±5～±15	接收器输入电压（V）	−12～+12	−25～+25

3．RS-485接口的抗干扰技术

RS-485 具有远距离、多节点（32 个）以及传输线成本低的特性，已成为工业应用中数据传输的首选标准。为此，RS-485在自动化领域中的应用非常广泛，但是在实际工程中RS-485总线的运用仍然存在着很多问题，影响信号传输的质量，给工程应用带来了很多不便。

（1）RS-485接口

RS-485采用差分信号负逻辑，＋2～＋6V表示逻辑“0”，－6～－2V表示逻辑“1”。RS-485有两线制和四线制两种接线方式，四线制只能实现点对点的通信方式，现在已很少采用。现在多采用两线制接线方式，这种接线方式为总线式拓扑结构，在同一总线上最多可以挂接32个节点。在 RS-485 通信网络中一般采用的是主从通信方式，即一个主机带多个从机。在很多情况下，连接RS-485通信链路时只是简单地用一对双绞线将各个接口的A、B端连接起来，而忽略了信号地的连接。这种连接方法在许多场合是能正常工作的，但存在很大的隐患，其原因如下。

① 共模干扰问题。RS-485接口采用差分方式传输信号，仅用一对双绞线将各个接口的A、B端连接起来，并不需要相对于某个参照点来检测信号，系统只需检测两线之间的电位差，在某些情况下也可以工作。因收发器有一定的共模电压范围，RS-485 收发器的共模电压范围为－7～＋12V，只有满足上述条件，整个网络才能正常工作。当网络线路中共模电压超出此范围时就会影响通信的稳定性，甚至损坏

接口。当发送器 A 向接收器 B发送数据时，发送器A的共模输出电压为U_{OS} 。由于两个系统具有各自独立的接地系统，存在着地电位差U_{GPD} ，那么接收器输入端的共模电压就会达到$U_{CM} = U_{OS} + U_{GPD}$ 。RS-485标准规定$U_{OS} \le 3V$，但U_{GPD} 可能会有很大的幅度（十几伏甚至数十伏），并可能伴有强干扰信号致使接收器共模输入电压 U_{CM} 超出正常范围，在信号线上产生干扰电流，轻则影响正常通信，重则损坏设备。

② EMI 问题。发送驱动器输出信号中的共模部分需要一个返回通路，如没有一个低阻的返回通道（信号地），就会以辐射的形式返回源端，整个总线就会像一个天线向外辐射电磁波。

③ 反射问题。在传输过程中如果遇到阻抗突变，信号在这个地方就会引起反射，这种信号反射的原理与光从一种媒质进入另一种媒质时引起的反射是相似的。消除这种反射的方法就是尽量保持传输线阻抗连续，实际工程中在电缆线的末端跨接一个与电缆的特性阻抗同样大小的终端电阻的方法就是为了减小信号反射。

从理论上分析，在传输电缆的末端只要跨接了与电缆特性阻抗相匹配的终端电阻，就能有效地减小信号反射。但是，在实际工程应用中，由于传输电缆的特性阻抗与通信速率等应用环境有关，特性阻抗不可能与终端电阻完全相等，因此，或多或少的信号反射还会存在。信号反射对数据传输的影响，归根结底是因为反射信号触发了接收器输入端的比较器，使接收器收到了错误的信号，导致CRC校验错误或整个数据帧错误。这种情况是无法改变的，只有尽量去避免它。

RS-485传输线在一般场合采用普通的双绞线就可以，在要求比较高的环境中可以采用带屏蔽层的同轴电缆。在使用RS-485接口时，对于特定的传输线路，从RS-485接口到负载，数据信号传输所允许的最大电缆长度与信号传输速率成反比，这个长度主要是受信号失真及噪声等影响。理论上，RS-485的最长传输距离能达到1200m，但在实际应用中传输距离要比1200m短，具体能传输多远视周围环境而定。在传输过程中可以采用增加中继器的方法对信号进行放大，最多可以加 8 个中继器，也就是说理论上 RS-485 的最大传输距离可以达到

9.6km。如果真需要长距离传输，可以采用光纤作为传播介质，在收发两端各加一个光电转换器。多模光纤的传输距离是5～10km，而采用单模光纤可达50km的传输距离。

（2）RS-485网络

RS-485支持半双工或全双工模式，网络拓扑一般采用终端匹配的总线型结构，不支持环型或星型网络，最好采用一条总线将各个节点串接起来。在使用 RS-485 接口时，当数据信号传输速率降低到90kbit/s 以下时，假定最大允许的信号损失为 6dB，则电缆长度被限制在1200m。实际上，在使用时完全可以取得比它大的电缆长度。若使用不同线径的电缆，则取得的最大电缆长度是不相同的。在构建网络时，应注意如下几点。

① 有些网络连接尽管不正确，在短距离、低速率下仍可能正常工作，但随着通信距离的延长或通信速率的提高，其不良影响会越来越严重，主要原因是信号在各支路末端反射后与原信号叠加，会造成信号质量下降。

② 采用一条双绞线电缆作为总线，将各个节点串接起来，从总线到每个节点的引出线长度应尽量短，以便使引出线中的反射信号对总线信号的影响最小。

③ 应注意总线特性阻抗的连续性，在阻抗不连续点就会发生信号的反射。易产生这种不连续性的情况有：总线的不同区段采用了不同的电缆，或某一段总线上有过多的收发器紧靠在一起安装，采用过长的分支线引出到总线。

总之，应该提供一条单一、连续的信号通道作为总线。在 RS-485 组网过程中，另一个需要注意的问题是终端负载电阻问题，在设备少、距离短的情况下不加终端负载电阻，整个网络能很好地工作，但随着距离的增加，性能将降低。理论上，在每个接收数据信号的中点进行采样时，只要反射信号在开始采样时衰减到足够低就可以不考虑匹配。但这在实际上难以掌握，美国MAXIM公司提到一条经验性的原则可以用来判断在什么样的数据传输速率和电缆长度下需要进行匹配：当信号的转换时间（上升或下降时间）超过电信号沿总线

单向传输所需时间的3倍以上时就可以不加匹配电阻。

RS-422串行接口和RS-485串行接口在电气特性上存在着不少差异，共模电压范围和接收器输入电阻不同，使得这两个标准适用于不同的应用领域。RS-485串行接口的驱动器可用于RS-422串行接口的应用中，因为RS-485串行接口兼容所有的RS-422串行接口性能参数，反之则不成立。对于 RS-485 串行接口的驱动器，共模电压的输出范围是−7～12V；对于RS-422 串行接口的驱动器，该项性能指标仅为±7V。RS-422 串行接口接收器的最小输入电阻是4kΩ，而RS-485串行接口接收器的最小输入电阻则是12kΩ。

（3）RS-485网络配置

① 网络节点数。网络节点数与所选RS-485芯片的驱动能力和接收器的输入阻抗有关，如75LBC184标称最大值为64点，RS-485标称最大值为400点。在实际使用时，因线缆长度、线径、网络分布、传输速率不同，实际节点数均达不到理论值。例如，75LBC184 运用在500m分布的RS-485网络上，节点数超过50或传输速率大于9.6kbit/s时，工作可靠性明显下降。通常推荐节点数按RS-485芯片最大值的70%选取，传输速率在1200～9600bit/s之间选取。当通信距离在1km 以内时，从通信效率、节点数、通信距离等方面综合考虑选用4800bit/s最佳。当通信距离在1km以上时，应考虑通过增加中继模块或降低传输速率的方法提高数据传输的可靠性。

RS-485 串行接口采用半双工方式通信，只需要两根通信线，网络连接更加简单。采用RS-485组成的总线型网络如图6-9所示。在图6-9中，75176接口芯片将发送和接收差动放大器集成在了一起，每个发送驱动器可以直接驱动32个接收器。而75174、75175只用于某些只有发送器或接收器的单向工作站的通信接口。

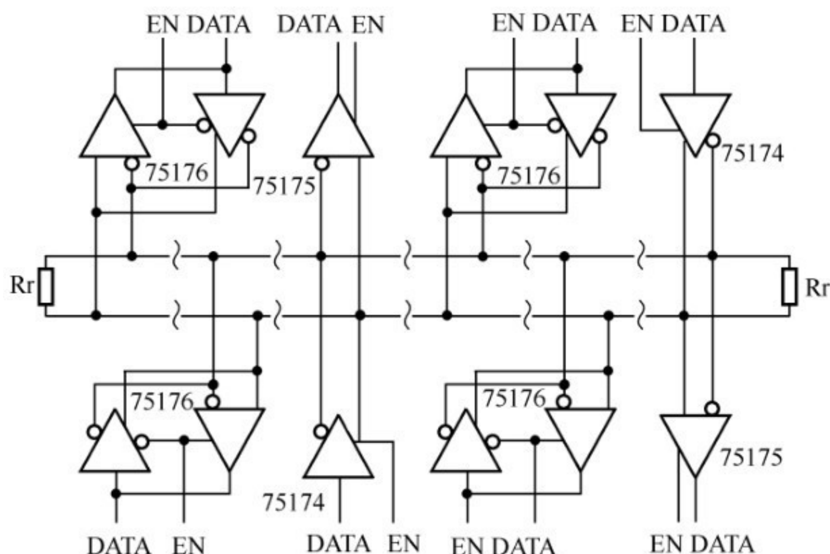


图6-9 采用RS-485构成的总线型网络

② 节点与主干距离。从理论上讲，RS-485 节点与主干之间的距离（称引出线）越短越好。引出线长度小于10m的节点采用T形连接方式，连接对网络匹配并无太大影响，但当节点间距非常小（小于1m，如LED模块组合屏）时应采用星形连接，若采用T形或串珠形连接，就不能正常工作。RS-485是一种半双工结构的通信总线，大多用于一点对多点的通信系统，因此，主机（PC）应置于一端，不要置于中间而形成主干的T形分布。

RS-485通常应用在一点对多点的主从应答式通信系统中，相对于RS-232等全双工总线效率低了许多，因此，选用合适的通信协议及控制方式非常重要。

在应用中，在数据发送前1ms将收发控制端TC置成高电平，使总线进入稳定的发送状态后才发送数据；数据发送完毕后再延迟1ms后将TC端置成低电平，使可靠发送完毕后再转入接收状态。使用TC端的延时有4个机器周期即可满足要求。为保证数据传输质量，对每个字节进行校验的同时，应尽量减少特征字和校验字。

③ RS-485接口的电源和接地。对于由MCU结合RS-485组建的通

信网络，应优先采用各子系统独立供电方案，最好不要采用一台大电源给系统并联供电，同时电源线（交、直流）不能与RS-485信号线共用同一根多芯电缆。RS-485信号线宜选用截面积为0.75mm² 以上的双绞线而不是平直线。对于每个小容量直流电源，选用线性电源比选用开关电源更合适。若选用LM7805线性电源，应采取以下保护措施。

① 在LM7805的输入端与地之间应跨接220～1000μF的电解电容。

② 在LM7805的输入端与输出端之间反接1N4007二极管。

③ 在LM7805的输出端与地之间应跨接470～1000μF的电解电容和104pF独石电容，并反接1N4007二极管。

④ 输入电压范围为8～10V，最大允许范围为6.5～24V。可选用TI公司的PT5100替代LM7805，以实现9～38V的超宽电压输入。

（4）RS-485接口电路的硬件设计

在工业控制领域，由于现场情况十分复杂，各个节点之间存在很高的共模电压。虽然RS-485接口采用的是差分传输方式，具有一定的抗共模干扰能力，但当共模电压超过RS-485接收器的极限接收电压，即大于+12V 或小于−7V 时，接收器就无法正常工作，严重时甚至会损坏芯片和设备。对此，可通过DC/DC变换器将系统电源和RS-485收发器的电源隔离，通过光耦将信号隔离，彻底消除共模电压的影响。

在MCU之间中长距离通信的诸多方案中，RS-485具有硬件设计简单、控制方便、成本低廉等优点，但 RS-485 总线在抗干扰、自适应、通信效率等方面仍存在缺陷，一些细节处理不当常会导致通信失败甚至系统瘫痪等故障，因此，提高 RS-485 总线的运行可靠性至关重要。

RS-485 接口有两种总线匹配方法，一种终端电阻方法，如图6-10 所示。位于总线两端的差分端口VA与VB之间应跨接120Ω匹配电阻，相当于电缆特性阻抗，因为大多数双绞线电缆的特性阻抗为100～120Ω，以减少由于不匹配而引起的反射及吸收噪声。这种匹配

方法简单有效，但有一个缺点，即匹配电阻要消耗较大电流，不适用于功耗限制严格的系统。

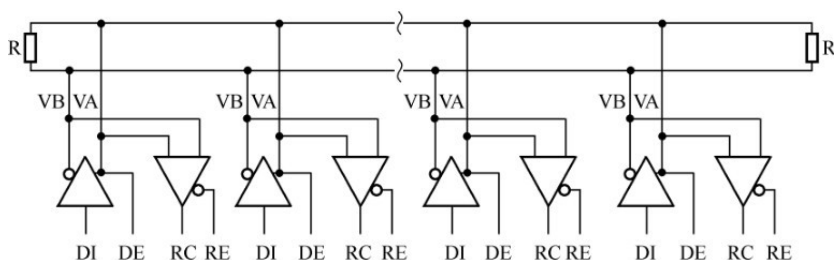


图6-10 总线匹配电阻

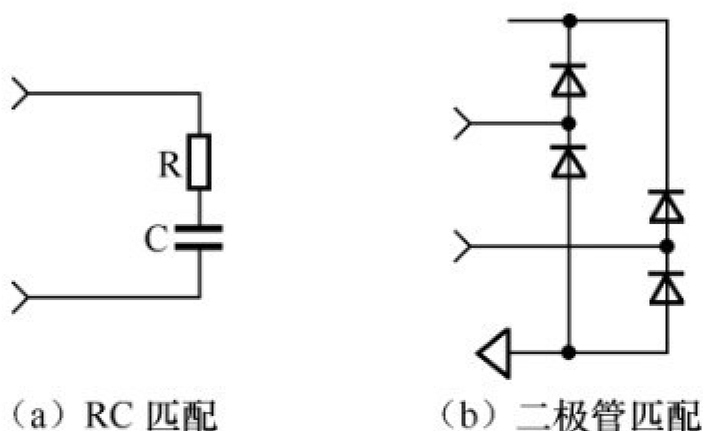


图6-11 RC、二极管的匹配

另外一种比较省电的匹配方案是RC匹配，如图6-11（a）所示。利用一只电容C隔断直流成分，可以节省大部分功率，但电容C的容量取值是个难点，需要在功耗和匹配质量间进行折中。除上述两种外还有一种采用二极管匹配的方案，如图 6-11（b）所示。这种方案虽未实现真正的匹配，但它利用二极管的钳位作用迅速削弱反射信号，达到改善信号质量的目的，节能效果显著。

异步通信数据以字节的方式传送，在每一个字节传送之前，先要通过一个低电平起始位实现握手。为防止干扰信号误触发RO（接收器输出）产生负跳变，使接收端MCU进入接收状态，RO需外接10kΩ

上拉电阻。

为保证系统上电时RS-485芯片处于接收输入状态，对于收发控制端TC采用MCU引脚通过反相器进行控制，不宜采用 MCU 引脚直接进行控制，以防止 MCU 上电时对总线的干扰。RS-485 总线为并接式二线制接口，一旦有一只芯片故障就可能将总线“拉死”，因此，对其二线口VA、VB与总线之间应加以隔离。通常在VA、VB端口与总线之间各串接一只4～10Ω的PTC电阻，同时与地之间各跨接一个5V的TVS二极管，以消除线路浪涌干扰。

（5）FSACC01隔离器

直接联网虽然是最经济的方案，但存在以下缺点。

① 当距离超过500m时，需增加RS-485中继器来延长通信距离，而中继器需要供电。这对于有些无供电条件的场合来说是一个难以解决的问题。

② 整个通信网络是非隔离的，抗干扰能力较差，特别是当网络需要与变频器通信时容易造成误码和死机。

③ 由于通信网络是非隔离的，当有雷电或其他较强的瞬变电压干扰作用于网络上时，将造成网络上的全部变频器接口损坏，带来重大的损失。

④ 变频器的TER和AUX端口均为MD8F圆形插座，不便于接线。

采用FSACC01隔离器或CAN-485G远程驱动器可以很好地解决以上问题。通过在每台变频器的通信口（TER）安装FSACC01隔离器，构成图6-12所示的主从式RS-485网络，无中继器时可实现最大通信距离为2km（9600bit/s时），19200bit/s时通信距离可达1.2km。如需传送更远距离，可在总线中加装RS-485中继器（型号为E485GA）。FSACC01的通信速率为0～250kbit/s自动适应，并具有防雷击和浪涌保护电路。

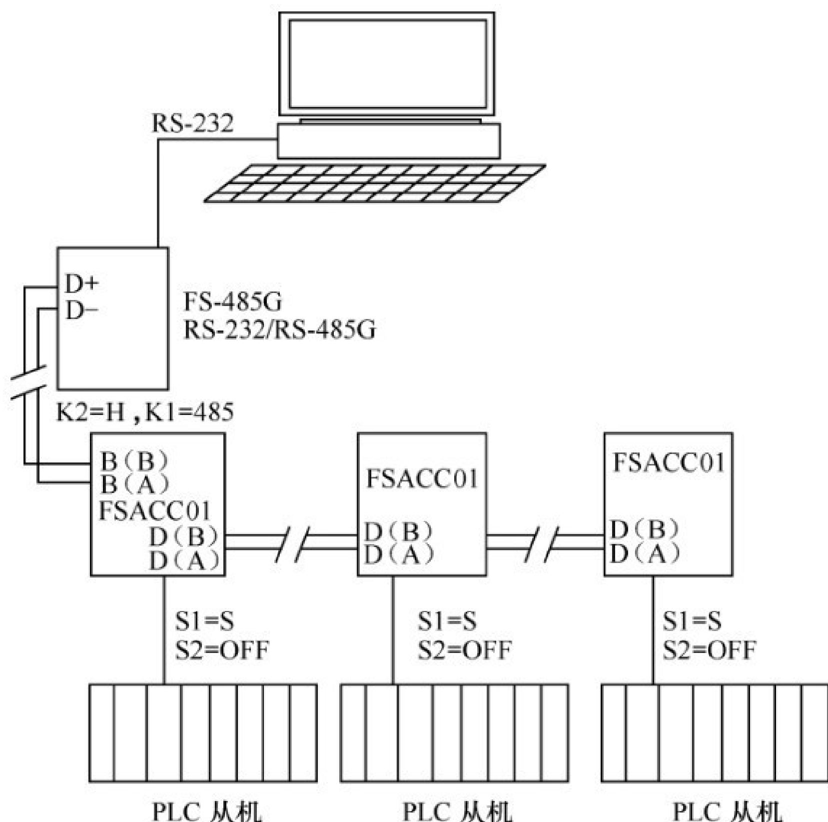


图6-12 主从式RS-485网络

组网的通信线可选截面积为 0.5mm² 以上的双绞线，将 RS-232/RS-485 隔离转换器FS-485G上的设置开关K1拨到“485”位置，选择RS-485模式，将K2拨到“R”位置，接入 120Ω终端电阻；将总线末端FSACC01 上的终端电阻设置开关 S2 拨到“R”位置，接入120Ω终端电阻，将其他站点的终端电阻设置开关S2拨到“OFF”位置。

虽然FSACC01硬件本身支持挂接64个站点，但实际可访问的站点数量还是由软件决定。如总线上需挂接变频器通信，为便于使用PLC上的DC 24V电源，可将FSACC01换成BH-485G隔离器，将变频器的RS-485接口经BH-485G隔离后再和总线相连。这种方案可以很好地解决PLC与变频器通信时的干扰和死机问题。

（6）CAN-485G远程驱动器

通过在每台变频器的通信口安装CAN-485G远程驱动器构成通信网络，如图6-13所示。传输速率为9600bit/s时可实现最大通信距离为5km，19200bit/s时可达3km，这是目前无中继器时铜线传输的最大距离。CAN-485G 是隔离的透明传输驱动器，该产品并未使用 CAN协议而采用了透明传输方式，因此，使用CAN-485G后并不需对原有软件作任何修改。CAN信号与RS-485信号相比有以下诸多优点。

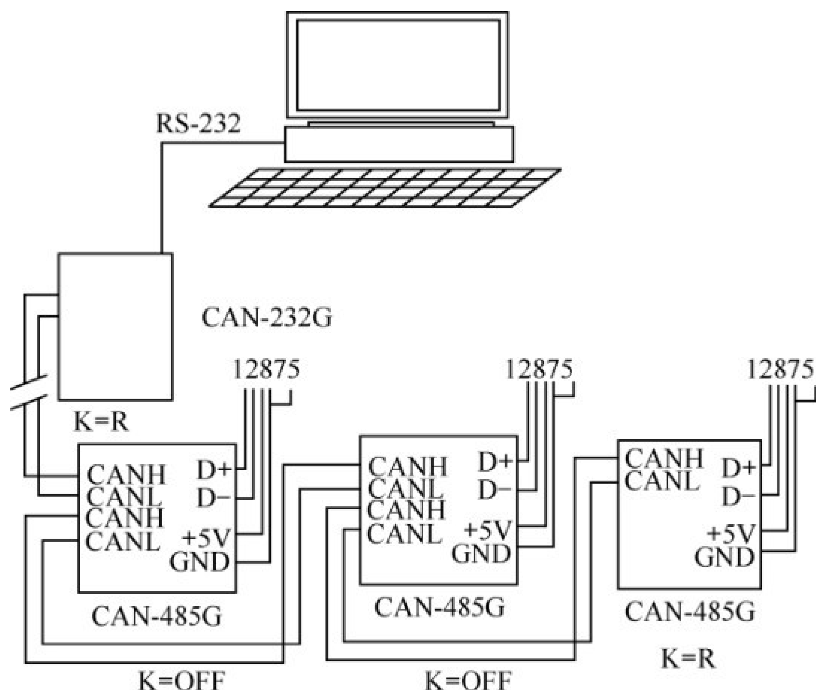


图6-13 CAN-485G远程驱动器安装示意图

① 通信线的截面积比 RS-485 通信线大，应选 1mm² 的双绞线。由于 CAN-485G 和CAN-232G（接计算机的 RS-232 接口）设计有两对总线端子，按图 6-12 所示方法接线也不存在分支线问题。

② CAN-485G 和 CAN-232G 内部已设计有终端电阻，需将总线始端和末端上的终端电阻设置开关K拨到“R”位置（接入120Ω终端电阻），而其他站点应拨到“OFF”位置（不接终端电阻）。虽然 CAN-485G硬件本身支持挂接110个站点，但实际可访问的站点数量

还是由软件决定。

③ CAN-232G和CAN-485G均需DC 5V工作电源。CAN-232G的工作电源可取自计算机的USB接口或用DC5V稳压电源，而CAN-485G的工作电源可取自TER接口的⑧脚（+5V）和⑦脚（GND），并将⑤脚和⑦脚短接（从机模式）。

（7）网络布线优化

由于 RS-485 总线布线的复杂程度与总线的长短和设备的挂接数目有很大关系，特别在大型系统中显得尤为突出。由于地理环境的原因，在相距一定距离的设备之间总是存在地电位不平衡的问题。有时即使距离很近，问题依然存在。这种环境造成的因素可能造成整个系统无法启动。虽然通过处理地电位可暂时解决部分问题，但时隔不久同样问题会再次出现。

针对RS-485布线中存在的问题，采用独特的等位分差隔离技术和高效的总线分割集中技术能有效解决工程布线中常见的地电位差异、阻抗匹配及雷击问题。简单地改变 RS-485/RS-422总线结构，分割网段，就可以提高通信的可靠性。当出现雷击或者设备故障时，出现问题的网段将被隔离，以确保其他网段正常工作。应用此方案具有如下优点。

① 采用星型结构连接 RS-485 总线，在有效利用接口的情况下布线覆盖面积大大扩大（一般为几平方千米）。

② 可以减少单个 RS-485 总线的负荷，同时有效地提高了整个系统的可靠性。当任一RS-485 接口短路时，只会影响其所在 RS-485 总线系统，不会影响其他接口连接的 RS-485系统正常工作。

③ 可以使得RS-485系统布线过程变得简单和快捷，从而有效地减少了工程的费用和时间。

④ 各接口间存在 3000V 隔离。对于由环境问题带来的布线问题，只需把问题显著的区域用单独接口进行连接集中处理，就能有效地解决地电位带来的布线问题。

（8）RS-485系统的常见故障及处理方法

RS-485是一种低成本、易操作的通信系统，但存在稳定性差和相

互牵制性强等问题，通常一个节点出现故障就会导致系统整体或局部瘫痪，而且又难以判断。RS-485使用一对非平衡差分信号，这意味着网络中的每一个设备都必须通过一个信号回路连接到地，以最小化数据线上的噪声。数据传输介质由一对双绞线组成，在噪声较大的环境中应加上屏蔽层。以下是检查RS-485网络故障的方法。

① 若系统完全瘫痪，大多因为某节点芯片的VA、VB对电源击穿，使用万用表测得VA、VB间的差模电压为零，而对地的共模电压大于3V，此时可通过测共模电压的大小来排查。共模电压越大，说明离故障点越近，反之越远。不同的制造商对VA、VB线采用不同的标签规定，但VB线应该永远是在空闲状态下电压更高的那一根。因此，VA线相当于负极，VB线相当于正极，可在网络空闲的状态下用电压表检测。如果VB线电压不比VA线电压更高，那么可判断存在连接问题。

② 总线上连续几个节点不能正常工作，一般是由于其中的一个节点故障导致的。一个节点故障会导致邻近的 2～3 个节点（一般为后续节点）无法通信，因此将其逐一与总线脱离。如某节点脱离后总线能恢复正常，说明该节点故障。为了检查哪一个节点停止了工作，需要切断每一个节点的电源并将其从网络中断开。使用欧姆表测量接收端VA与VB或正极与负极之间的电阻值。故障节点的电阻值通常小于200Ω，而非故障节点的电阻值将会比400Ω大得多。

③ 集中供电的RS-485系统在上电时常常出现部分节点不正常，但每次又不完全一样。这是由于RS-485的收发控制端TC设计得不合理，造成子系统上电时节点收发状态混乱，从而导致总线堵塞。改进的方法是为各子系统加装电源开关，然后分别上电。

④ 系统基本正常，但偶尔会出现通信失败。一般是由于网络施工不合理，导致系统的可靠性处于临界状态，最好改变走线或增加中继模块。

⑤ MCU故障导致TC端处于长发状态而将总线拉“死”，此时应对TC端进行检查。尽管RS-485规定差模电压大于200mV即能正常工作，但实际测量时发现，一个运行良好的系统的差模电压一般在1.2V

左右（因网络分布、速率的差异有可能使差模电压在0.8～1.5V范围内）。

当没有设备进行传输，所有设备都处于监听状态的时，RS-485网络中会出现三态状态。这将导致所有的驱动器进入高阻态，使悬空状态传回所有的RS-485接收端。节点设计中克服这一不稳定状态的典型方法是：在接收端的VA和VB线上加装下拉和上拉电阻来模拟空闲状态。为了检查这一偏置，应在网络供电和空闲的状态下测量VB线到VA线的电压。为了确保远离不定状态，要求至少存在300mV电压。如果没有安装终端电阻，偏置的要求是非常宽松的。

一根双绞线构成的 RS-485 网络可以上行与下行地传送数据。由于没有两个发送端能够在同一时间成功地通信，所以，在数据的最后一位传送完毕后的一个时间片内，网络表现为空闲状态，但实际上节点还没有使其驱动器进入三态状态。如果另一个设备试图在这一时间段内进行通信，将会发生结果不可预测的冲突。为了检测这种冲突，使用数字示波器来捕捉几个字节的1和0，确定一个节点在传输结束时进入三态状态所需要的时间。确保RS-485软件没有试图响应比一个字节的时间更短的请求（在76.8kbit/s速率下略大于1ms）。

虽然隔离是抵御电源浪涌的第一道防线，但是增加多级浪涌抑制器可以消弱更大的浪涌干扰，保证它们是在网络隔离可以容忍的范围内，最好是在网络的高性能接地点的位置安装浪涌抑制器。

西门子变频器内部的RS-485接口电路如图6-14所示。R1、R2是阻值为10Ω的普通电阻，其作用是防止D＋和D－端短路时产生过电流损坏芯片。Z1、Z2是钳制电压为6V、最大电流为10A的齐纳二极管。24V电源和5V电源共地，未经隔离。当D＋或D－线上有共模干扰电压灌入时，由桥式整流电路和 Z1、Z2 可将共模电压钳制在±6.7V，从而保护 RS-485 芯片SN75176（RS-485芯片的允许共模输入电压范围为－7～＋12V）。该保护电路能承受的共模干扰信号的功率为60W，保护电路和芯片内部没有防静电措施。

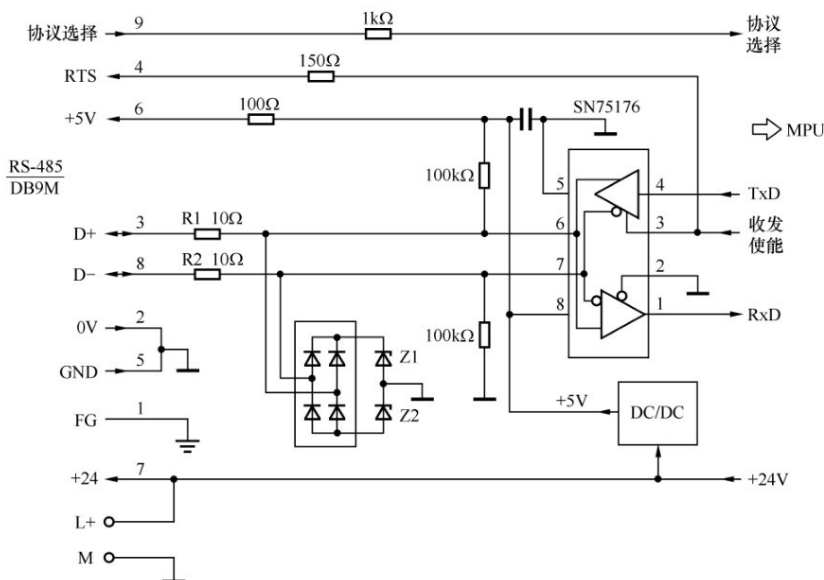


图6-14 西门子S7-200变频器内部的RS-485接口电路图

当变频器的RS-485接口经非隔离的PC/PPI电缆与计算机、PLC或触摸屏等通信时有通信口损坏现象发生，较常见的损坏情况如下。

① R1或R2损坏，Z1、Z1和SN75176完好。这是由于有较大的瞬态干扰电流经R1或R2、桥式整流、Z1或Z2到地。Z1、Z2能承受最大10A电流的冲击，而该电流在R1或R2上产生的瞬态功率为$10^2 \times 10 = 1000$（W），当然会将其损坏。

② SN75176损坏，R1、R2和Z1、Z2完好。这主要是由于受到静电冲击或瞬态过电压速度快于Z1、Z2的动作速度造成的。静电无处不在，人体也会产生±15kV的静电。

③ Z1（或Z2）、SN75176损坏，R1和R2完好。这可能是高电压、低电流的瞬态干扰信号将Z1（或Z2）和SN75176击穿，由于电流较小和发生的时间较短，因而R1、R2不至于发热损坏。

由以上分析可知，变频器接口损坏主要是由于瞬态过电压和静电造成的。产生瞬态过电压和静电的原因很多也较复杂，因变频器内部24V电源和5V电源共地，24V电源的输出端子 L+、M 为其他设备混合供电可能导致地电位变化，从而造成共模电压超出允许范围。所

以，RS-485标准要求将各个RS-485接口的信号地用一条低阻值导线连接在一起，以保证各节点的地电位相等，消除地线环流。

当带电插拔未隔离的连接电缆时，由于两端电位不相等，电路中又存在诸多电感、电容之类的器件，插拔瞬间必然产生瞬态过电压或过电流。连接在 RS-485 总线上的其他设备产生的瞬态过电压或过电流同样会流入变频器接口，总线上连接的设备站点数越多，产生瞬态过电压的因素也越多。当通信线路较长或有室外架空线时，雷电将会在线路上造成过电压，其能量往往是巨大的，将造成网络上的设备损坏，解决的办法如下。

① 变频器采用隔离的DC/DC变换器将24V电源和5V电源隔离。

② 选用静电保护、过热保护、输入失效保护等保护措施完善的高档次RS-485芯片，如SN65HVD1176D、MAX3468ESA等。

③ 采用响应速度更快、承受更大瞬态功率的新型保护器件TVS或BL浪涌吸收器，如P6KE6.8CA的钳制电压为6.8V，可承受的瞬态功率为500W，BL器件则可抗击4000A以上的大电流冲击。

④ R1和R2采用正温度系数的自恢复保险丝（PTC），如JK60-010，正常情况下的电阻值为5Ω，并不影响正常通信。当受到浪涌冲击时，大电流流过PTC和保护器件TVS（或BL）， PTC的电阻值将骤然增大，使浪涌电流迅速减小。

⑤ 使用隔离的PC/PPI 电缆，尽量不用廉价的非隔离电缆（特别是在工业现场）。西门子公司早期出产的PC/PPI电缆（6ES7901-3BF00-0XA0）是不隔离的，现在也改成了隔离的电缆。

⑥ 变频器用RS-485接口联网时采用隔离的总线连接器，如PFB-G，速率为0～1.5Mbit/s自动适应。外形和使用方法与西门子非隔离的总线连接相同。

⑦ 与PLC联网的第三方设备，如变频器、触摸屏等的RS-485接口均使用RS-485隔离器BH-485G进行隔离，这样各RS-485节点之间就无“电”的联系，也无地线环流产生，即使某个节点损坏也不会连带造成其他节点损坏。

⑧ RS-485 通信线采用Profibus总线专用屏蔽电缆，保证屏蔽层

接到每台设备的外壳并最后接大地。

⑨ 对于有架空线的系统，总线上最好设置专门的防雷击设施。

4．RS-485通信抗干扰应用案例

在工业现场，当PLC与变频器之间采用RS-485方式进行通信时，经常容易产生通信中断、误码、死机甚至 RS-485 接口被损坏等故障，而且联网的变频器越多，这种现象越容易发生。变频器本身的特点决定了变频器会产生诸多干扰，对于 RS-485 通信接口而言，由于各个PLC和变频器使用不同的电源，或本身电路结构不同，使得各个RS-485通信接口的地电位相差很大，势必造成传送数据时信号失真较为严重，使得通信出错。当共模电压超过－7V或＋12V时，则会损坏RS-485接口。

对每个 RS-485 通信接口进行隔离是解决问题的最好办法，即在每台 PLC 和变频器的RS-485通信接口上加装RS-485到RS-485的隔离器。为了保证加装了隔离器后仍然使用原来的软件，隔离器必须是无延时的、传输速率自适应的数据完全透明的传输装置。

（1）采用BH-485G隔离器的方案

BH-485G隔离器是具有数据流向自动切换功能、数据完全透明传输、无延时的隔离器，传输速率为0～250kbit/s自适应，供电电源有DC 5V和DC 24V两种供选择（一般变频器上均有DC 24V电源输出端子）。而且BH-485G具有两对RS-485接线端子，避免了会使波形畸变的总线分支问题，接线非常方便。

BH-485G 采用标准导轨安装方式，带有数据收发指示灯。加装了BH-485G 隔离器后的PLC和变频器组成的RS-485通信网络如图6-15所示。

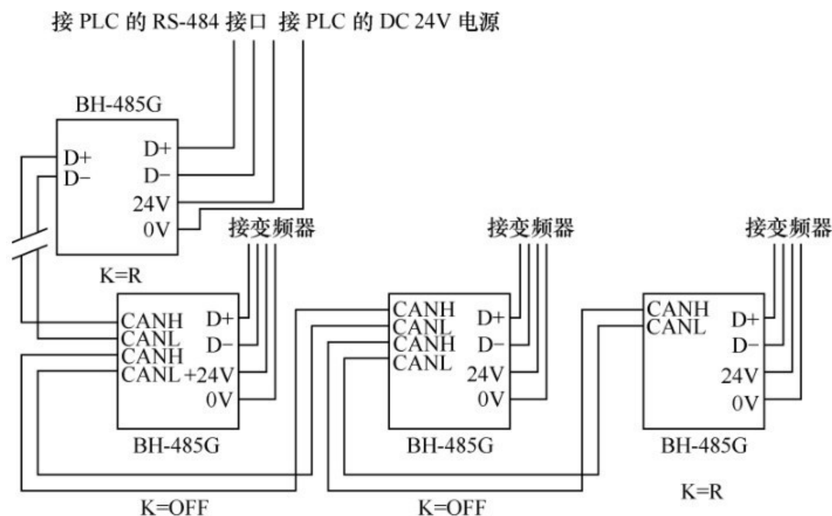


图6-15 采用BH-485G隔离器的变频器和PLC组成的RS-485通信网络

设置时须将总线两端的BH-485G上的终端电阻设置开关K拨到“R”位置（接入120Ω终端电阻），其他位置的开关拨到“OFF”位置（不接终端电阻）。如通信距离超过2km（9600bit/s时），可在总线中增加RS-485中继器（型号为E485GA）或使用CAN-485G超远程隔离驱动器。

（2）西门子PLC与变频器的光隔离联网方案

在每台PLC的通信接口安装PFB-G总线隔离器（见图6-16），无中继器时可实现最大通信距离为2km，最多站点数量为160个。如距离超过2km，可在网络中加装RS-485中继器（型号为 E485GP），PFB-G 的最高通信速率为 12Mbit/s，可用于 Profibus 网络、PPI 网络、MPI 网络和自由口通信网络等一切 RS-485 网络，特别适用于干扰较大的恶劣环境。由于光电隔离解决了各个节点由于地电位差带来的经常损坏通信口的问题，并使通信中的干扰减小到最小，特别是当网络中有变频器通信时效果更为明显。

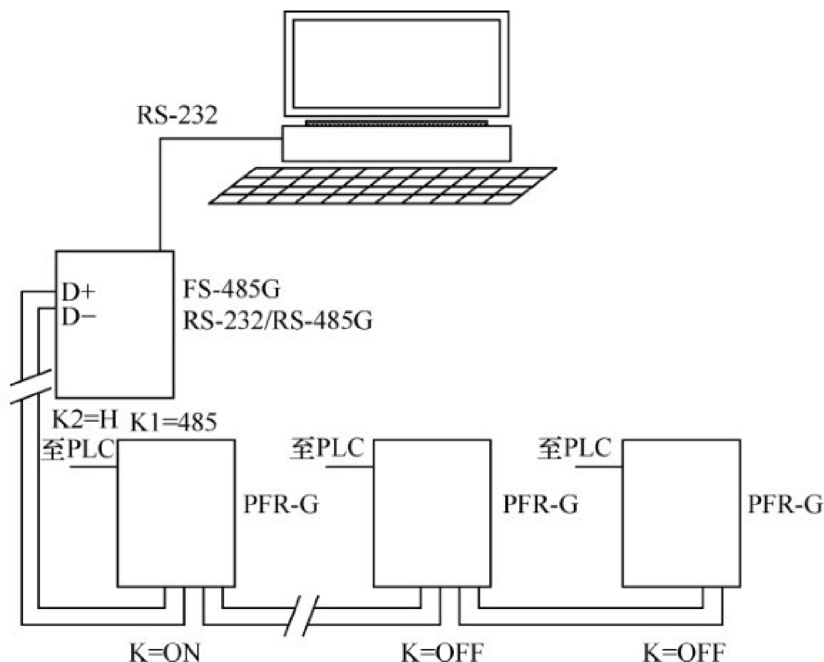


图6-16 在每台PLC的通信接口安装PFB-G总线隔离器

如总线上需挂接变频器通信，为便于安装和接线，可将PFB-G换成BH-485G隔离器，将变频器的RS-485接口经BH-485G隔离后再和总线相连。这种方案可以很好地解决PLC与变频器通信时的干扰和死机问题。

可用西门子公司的 S7-200 系列 PLC 与变频器组成 RS-485 通信网络，传统的做法是将PLC 和变频器的 RS-485 通信接口直接相连组成网络，实际应用时发现对于一些干扰较严重的工业现场，特别是使用西门子公司的 MM4××系列变频器时，常常产生误码、死机甚至损坏 RS-485 接口的故障，系统的可靠性大大降低。对于架空线路，若遭雷击，则很可能使总线上的所有设备损坏。

解决以上问题的最简单有效的办法是在PLC和变频器的RS-485通信接口上加装带浪涌保护的 RS-485 光电隔离器，以消除地线环路的干扰和变频器特有的瞬态过电压等。采用PFB-G总线隔离器和BH-485G隔离器组成的PLC和变频器通信网络如图6-17所示。由图

6-17可见，所有设备的RS-485接口均被隔离，整个通信线路被浮空，有效地抑制了干扰的进入，也彻底解决了由于设备接地问题而引起的串扰，使系统的可靠性得到很大提高。

图6-17 采用PFB-G总线隔离器和BH-485G隔离器组成的PLC和变频器通信网络

PFB-G直接插在PLC的RS-485接口（DB9F）上，工作电压由PLC通信接口的⑦脚和②脚的DC 24V电压供给，无须另接电源。BH-485G采用标准导轨安装结构，安装在变频器机柜中，DC 24V工作电源可取自变频器的DC 24V电源输出端子，安装非常方便。

6.2 变频器与PLC 通信案例

6.2.1 变频器与三菱PLC的通信

1．三菱**PLC**控制变频器的方法

① 用开关量信号控制变频器。PLC（MR型或MT型）的输出端、

COM端直接与变频器的 STF（正转启动）、RH（高速）、RM（中速）、RL（低速）、SG 等端口分别相连。PLC可以通过程序控制变频器的启动、停止、复位，也可以控制变频器高速、中速、低速端子的不同组合，实现多段速度运行。但是，因为它是采用开关量来实施控制的，其调速曲线不是一条连续平滑的曲线，也无法实现精细的速度调节。这种开关量控制方法的调速精度无法与采用扩展存储器的通信控制方式相比。

② 用模拟量信号控制变频器。采用FX1N型、FX2N型PLC为主机，配置一路简易型的 FX1N-1DA-BD 扩展模拟量输出板或模拟量输入输出混合模块 FX0N-3A，或两路输出的FX2N-2DA模块，或四路输出的FX2N-4DA模块等。采用模拟量信号控制变频器的优点有：PLC程序编制简单方便，调速曲线平滑连续，工作稳定。其缺点是在大规模生产线中，控制电缆较长，尤其是DA模块采用电压信号输出时，线路上有较大的电压降，影响了系统的稳定性和可靠性。另外，从经济角度考虑，如控制8台变频器，需要两块FX2N-4DA模块，其造价是采用扩展存储器通信控制方式的5～7倍。

③ 采用RS-485无协议通信方法控制变频器。这是最为普遍的一种方法，PLC采用RS串行通信指令编程。采用RS-485无协议通信方法控制变频器的优点为硬件简单，造价最低，可控制32台变频器；缺点是编程工作量较大。

④ 采用RS-485的Modbus-RTU通信方法控制变频器。三菱新型F700系列变频器使用RS-485端子，利用Modbus-RTU协议与PLC进行通信。采用RS-485的Modbus-RTU通信方法控制变频器的优点是Modbus通信方式的PLC编程比RS-485无协议方式要更加简单便捷，缺点是PLC编程的工作量仍然较大。

⑤ 采用现场总线方式控制变频器。三菱变频器可内置各种类型的通信选件，如用于CC-Link现场总线的FR-A5NC选件、用于Profibus-DP现场总线的FR-A5AP（A）选件、用于 DeviceNet现场总线的 FR-A5ND选件等。三菱 FX系列 PLC有对应的通信接口模块与之对接。采用现场总线方式控制变频器的优点为速度快，距离远，效率高，工作

稳定，编程简单，可连接的变频器数量多；缺点是造价较高，远远高于采用扩展存储器通信控制方式时的造价。

综上所述，PLC采用扩展存储器通信方式控制变频器的方法有造价低廉、易学易用、性能可靠的优势，若配置人机界面，变频器的参数设定和监控将变得更加便利。

2．系统硬件组成

变频器与三菱PLC通信系统的硬件组成如图6-18所示，该系统由FX2N系列PLC（产品版本为V3.00以上）1台（软件采用FX-PCS/WIN-CV3.00版）、FX2N-485-BD通信模板（最长通信距离为50m）或FX0N-485ADP通信模块1块、FX2N-CNV-BD板1块（最长通信距离为500m）、FX2N-ROM-E1功能扩展存储盒1块（安装在PLC本体内）、带RS-485通信接口的三菱变频器8台（S500系列、E500系列、F500系列、F700系列、A500系列、V500系列等，可以相互混用，总数量不超过8台；三菱所有系列变频器的通信参数编号、命令代码和数据代码相同）以及RJ45电缆（5芯带屏蔽）、终端电阻（100Ω）、人机界面（如F930GOT等小型触摸屏）构成。

安装FX2N-485-BD通信模板和FX2N-ROM-E1功能扩展存储器时，用RJ45电缆分别将其连接变频器的PU端，在网络末端变频器的信号接收端RDA、RDB之间连接一只100Ω终端电阻，以消除由于信号反射的影响而造成的通信障碍。

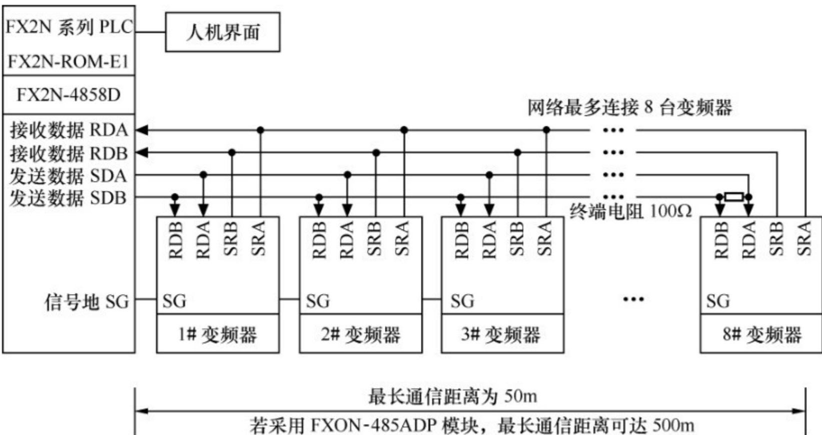


图6-18 三菱PLC采用扩展存储器通信方式控制变频器的系统配置

3．变频器通信参数的设置

为了正确地建立通信，必须为变频器设置与通信有关的参数，如“站号”、“通信速率”、“停止位长/字长”、“奇偶校验”等。变频器内的Pr.117～Pr.124参数用于设置通信参数。参数设定通过操作面板或变频器设置软件FR-SW1-SETUP-WE在PU口进行。

4．通信方式

PLC与变频器之间采用主从方式进行通信，PLC为主机，变频器为从机。1个网络中只有1台主机，主机通过站号区分不同的从机。它们采用半双工通信方式，从机只有在收到主机的读写命令后才发送数据。PLC指令的规格见表6-2。

表6-2 PLC指令规格表

功　　能	对 应 指 令	内　　容
变频器各种运行状态的监视	EXTRK10	可以读取输出转速、运行模式
变频器各种运行状态的控制	EXTRK11	可以变更运行指令、运行模式
变频器参数的读取	EXTRK12	可以读取变频器的参数值
变频器参数的写入	EXTRK13	可以变更变频器的参数值

6.2.2 西门子MMV变频器的远程控制及通信

1．硬件接口

MMV　变频器采用半双工通信方式，所以微处理器的串行通信接口选用半双工的电平转换芯片（TTL→RS-485），系统采用的是MAXIM公司的MAX-485。在通信可靠的前提下，通信速率越高实时性越好，但对微处理器系统的要求也越高。图6-19为通信接口电路原理图。

2．通信协议

MMV变频器采用的是SiemensUSS通信协议，它是西门子公司所有传动产品的通用通信协议。USS总线上的每个传动装置都有一个从站号，通过串行接口的USS总线最多可接30台变频器。

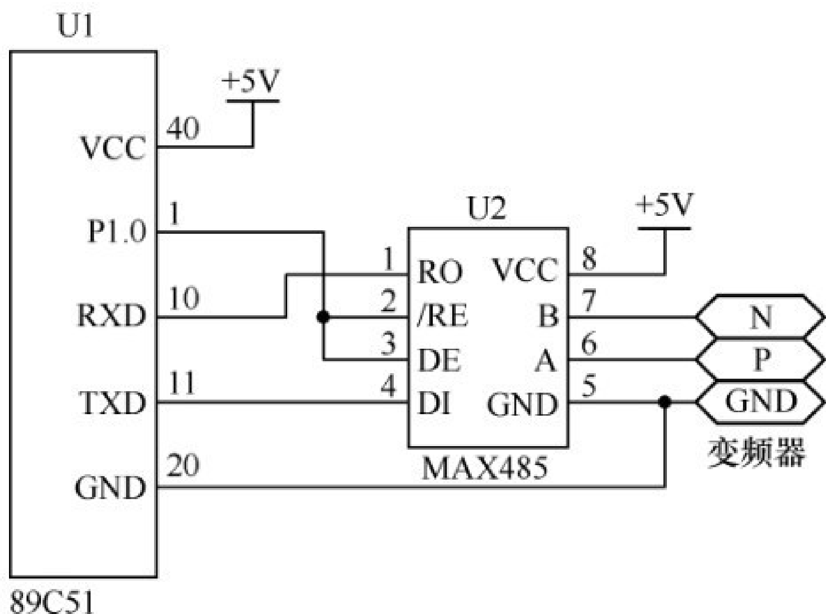


图6-19 通信接口电路原理图

（1）通信执行过程

在微处理器与变频器通信的过程中，始终由微处理器给变频器发送报文，变频器接收报文并发送反馈报文，但不能主动向微处理器发送报文。根据微处理器对变频器的两种操作，有两种通信过程。

① 写操作。写操作是微处理器向变频器写入数据，控制变频器的运行。其过程如下：

微处理器发报文→变频器接收报文→变频器发送反馈报文→微处理器接收报文。

② 读操作。读操作是微处理器从变频器中读出数据，监视变频器的状态。其过程如下：

微处理器发报文（要查询的变频器的运行参数）→变频器发送报文（微处理器要查询的相关参数）→微处理器接收报文。

微处理器发报文中为所要查询的变频器的运行参数有变频器的运行频率、旋转方向、电机转速、故障状态、电机电流值等。

（2）报文格式

MMV通信的所有数据报文都由14个字节组成，用十六进制数表示。每个数据报文都是标准的异步报文格式，包括1个起始位、8个数据位、1个偶校验位和1个停止位。微处理器到变频器的报文格式为：

STXLGEADRPKEINDVALSTWHSWBCC

其中：STX为报文的首字节，单字节，值为02H；LGE为报文长度，单字节，值为0CH；ADR为变频器地址，单字节；PKE用来控制变频器的参数设定，双字节；IND在MMV中不用，双字节，设为0；VAL为PKE中参数所设定的值，双字节；STW为变频器的控制字，用来控制变频器的运行，双字节；HSW用来设定变频器的运行频率，通过系统参数P095设置，可以用值4000H代表100%，亦可代表实际频率值，双字节；BBC为报文校验值，由前面所有字节的异或构成，单字节。

STW控制字的结构如图6-20所示，其中bit13、bit14、bit15未被使用，设为0。

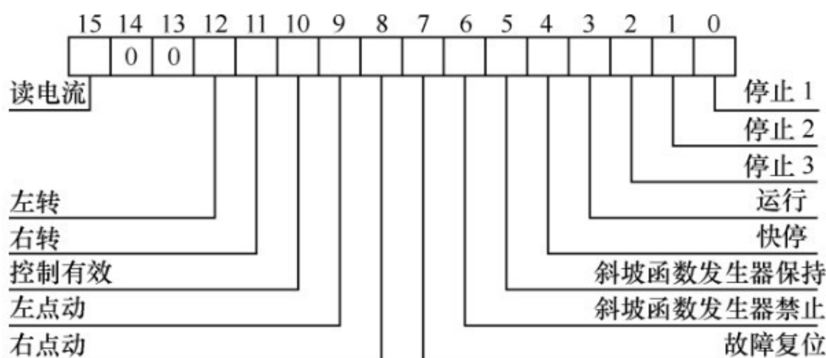


图6-20 STW控制字的结构图

变频器到微处理器的报文格式为：

STXLGEADRPKEINDVALZSWHIWBCC

其中：ZSW 为变频器的当前状态，双字节；HIW 为变频器的输出频率，双字节；其余同微处理器到变频器的报文格式中的定义。

ZSW为变频器状态字，其结构如图6-21所示。其中bit8未被使用，总返回1；bit13、bit14、bit15 未被使用，总返回 0。微处理器

在发送报文后，若超过时间（1.5 × 11 × 14/传输速率）未收到应答报文，说明变频器未收到报文，应再次发送该报文。

3．通信程序设计

微处理器与变频器通信时，微处理器始终处于主动地位。软件要实现两个功能，设置变频器的运行参数和读取变频器的运行状态参数。功能模块有：通信初始化、变频器故障复位、变频器关断、减速停车、立即停车、快速制动停车、按设定频率和方向运行等。

程序主要由发送报文和接收报文子程序组成，报文初始化后，每个功能模块只是改变相应的报文参数，调用发送报文子程序SendMessage实现相应功能。变频器参数读取为先发送参数查询程序SPWMQuery（intPEK1；intPEK2），等待10ms后查询接收变频器发送来的报文。图6-22为变频器的通信流程图。

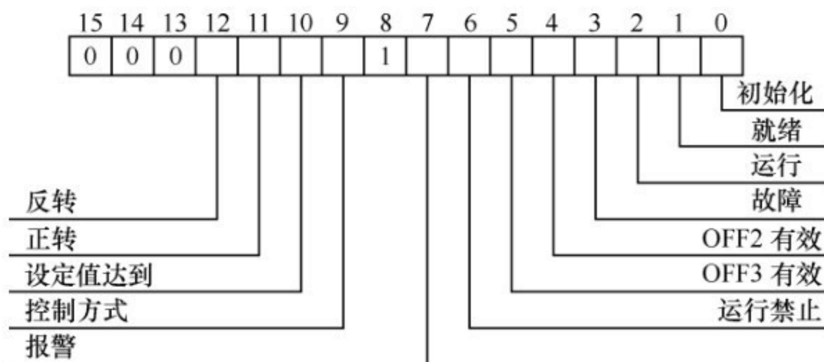


图6-21 ZSW变频器状态字的结构图

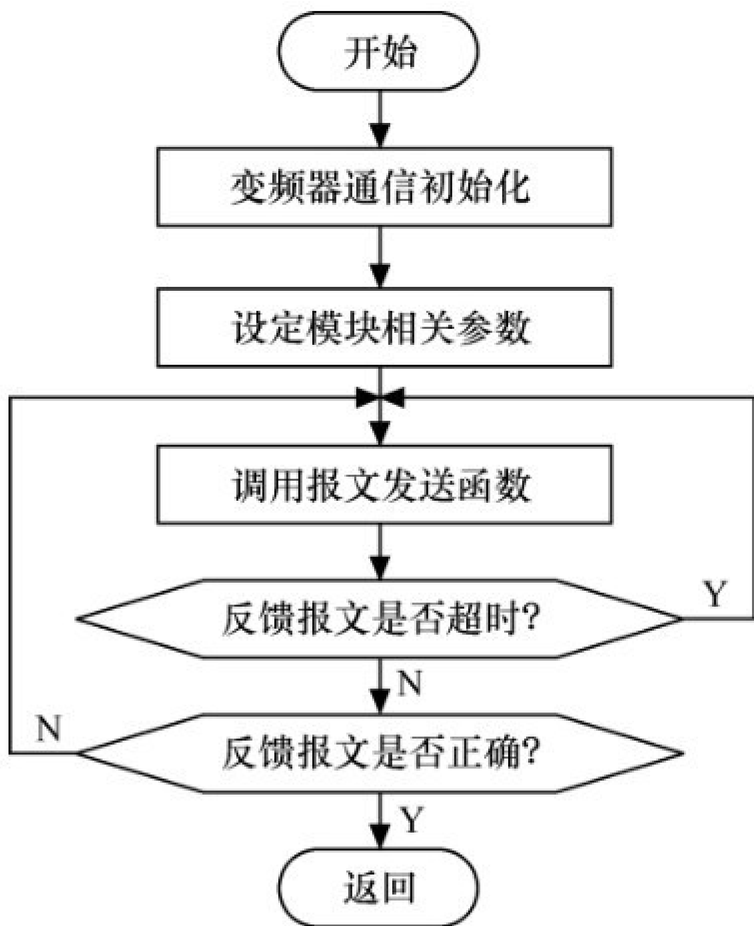


图6-22 变频器通信流程图

6.2.3 台达变频器与计算机串口的通信

变频器自身带有控制面板，具有简单、高效的特点，但由于现场操作不够方便、直观性差以及仅能实现单机控制等缺点，实际应用中多采用E　模式运行，即信号完全取自变频器外部。通过VB6.0的人机界面实现对变频器控制，应用RS-485总线结构可以同时实现对32台变频器的控制。

1．接口转换

现在一般的PC都有RS-232串口，但除工控机外少有RS-485接口，而为了与变频器通信，采用ADAM-4520转换模块。将该模块的一端直接插在计算机的串口上，另一端提供一个半双工的RS-485接口，而不需要握手信号。其内置的特殊的I/O电路可以自动控制信号的传输方向。这种RS-485控制对用户是完全透明的，为RS-232编写的软件可以不加修改地用在这里。该模块需要外加一个+10～+30V直流电源，可以隔离3000V的高电压，传输速率达到115.2kbit/s。图6-23为系统的总体设计方框图。

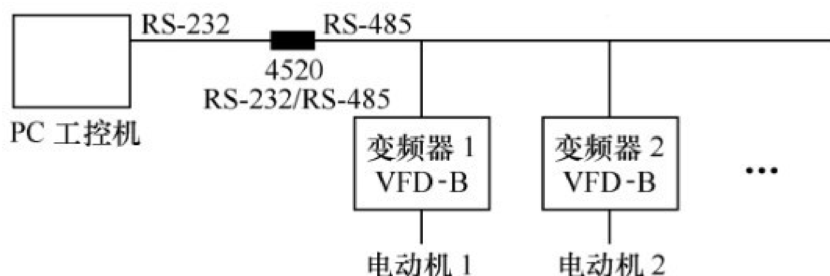


图6-23 系统的总体设计方框图

2．台达变频器的通信协议

VFD-A 系列变频器具有内建 RS-485 串联通信界面，串联通信埠（SG+、SG–）位于控制回路端子处，各端子的定义如下：SG+为信号正端，SG–为信号负端。

使用RS-485串联通信界面时，每一台VFD-A变频器必须预先在Pr.-78（参数78）中指定其通信位址，计算机便根据其个别的位址实施控制。另外，计算机可控制将命令码中的参数“A”设定为02H，可同时对所有连线的变频器进行控制。

协议格式：传输速率设定范围为1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s（Pr.-77），每一个字段以11个位表示，采用奇校验。协议字节格式见表6-3。

表6-3 协议字节格式

位	功　能	位	功　能
1	开始位	1	奇偶校验位
8	数据位	1	停止位

通信格式：包括控制指令、参数设定指令、参数读取指令以及变频器状态读取指令。这里以控制指令为例说明如下。

控制指令的格式为：C.S.A.UU.MM.FFFF。

其中：C　为控制命令字串“CONTROL”的字头；S　为和检查（03H）；A 为命令认可， 01H表示单一台，02H表示所有连线变频器；UU为通信位址（00～31）；MM为运转命令（X＝无定义），X0表示停止；X1表示正转运行，X2表示停止，X3表示反转运行，X4、X5表示寸动正转，X6、X7 表示寸动反转，X8 表示异常发生后重置变频器；FFFF 为频率指令，设定范围为0000～4000，代表的设定频率值Hz＝0.0～400.0Hz，例如“1234”表示123.4Hz。

在图6-23中PCI控机通过ADAM4520（RS-232转RS-485）与多台变频器相连接，所连接的变频器最多可达到32台（可通过中断器扩展到254台）。每台变频器被赋予各自的地址码用以识别身份，这样上位机便能通过RS-485通信线对挂在上面的所有变频器进行控制操作。

台达VFD-B系列变频器的通信协议遵守MODBUSASCII模式，通信方式为RS-485，传输速率最高可达38400bit/s，通信资料格式可自设定。变频器发送、接收控制的通信协议见表6-4。

表6-4 变频器发送、接收控制的通信协议

STX	起始字符=“：”（3AH）
AddnessHi	通信地址： 8-bit 位址由两个 ASCⅡ码组合而成
AddnessLo	
FunctionHi	功能码： 8-bit 功能码由两个 ASCⅡ码组合而成
FunctionLo	
DATA（*n*-1）	资料内容：
DATA0	$n\times$8-bit 资料内容由两个 ASCⅡ码组合而成； $n\leqslant 25$，最多 50 个 ASCⅡ码

续表

STX	起始字符=“：”（3AH）
LRCCHKHi LRCCHKLo	LRC 检查码： 8-bit 检查码由两个 ASCⅡ码组合而成
ENDHi ENDLo	结束字元： ENDHi=CR（ODH），ENDLo=LF（OAH）

功能码为03H时表示读出寄存器内容，比如询问信息字串的格式如下：

"：010321020002D7"CRLF

回应信息字串的格式为：

"：0103041770000071"CRLF

这里表示变频器位址为01H，读出两个连续寄存器内的资料内容，起始寄存器的位址为2102H，结果为1770H（60.00Hz）。

若功能码为06H，表示写入一个word至寄存器，比如对于变频器位址01H，写入6000　（1770H）至变频器内部设定参数0100H，其询问信息字串格式与回应信息字串格式相同。

"：01060100177071"CRLF

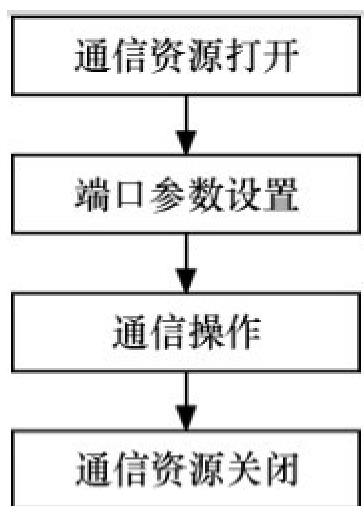


图6-24 串行通信程序的编写步骤

因此，对于变频器通过面板按键设置的功能，通过以上的通信协议也一样能实现。通过ADAM4520的RS-485通信线能同时控制多台变

频器，同时各变频器的运行状态和内部设定参数也能实时地回送给上位机或者通过上位机进行修改， 这就大大方便了使用，增加了控制系统的灵活性。

3．在Visual C++ 6.0下对变频器进行串行通信控制

（1）串口初始化

Windows 98环境提供了完备的API应用程序接口函数，通信函数是由中断驱动的：发送数据时，先将其放入缓存区，串口准备好后就将其发送出去；传来的数据迅速申请中断，使Windows接收它并将存入缓冲区，以供读取。串口通信程序的编写步骤如图6-24所示。初始化程序代码如下：

hCom＝CreateFileC"COM2"，GENERIC_READl GENERIC_WRITE，O，NULL，

OPEN_EXISTING，FILE_ATTRIBUTE_NORMAL，NULL)；//用于打开通信资源

if(hCom = INVALID_HANDLE_VALUE)

MessageBox(hWnd，“打开COM2失败”，“MyIpc”，MB_OK)；

SetupComm(hCom，1024，1024)；//用于设置输入输出队列的大小

GetCommState(hCom，&dcb)；//获得端口参数的当前配置

dcb.BaudRate = 9600；//设置传输速率

dcb.ByteSize = 7；//设置数据位

dcb.Parity = 0；//设置无校验

dcb.StopBits = 2；//设置停止位数

SetCommState(hCom，&dcb)；//设置端口

PurgeComm(hCom，PURGE_TXCLEAR)；//清发送缓冲区

Purgcomm(hCOm，PURGE_RXCLEAR)：//清接收缓冲区

（2）串行通信程序

读取变频器各个参数的数值并作相应处理，用以在显示屏上监视变频器的状态（如频率指令（F）、输出频率、输出电流、DC-BUS 电压等），还可以读取变频器的内部设定参数00-00～11-04等。

6.2.4 基于Modbus总线的变频调速系统

1．Modbus总线

Modbus 通信协议是一种工业现场总线通信协议，它定义的是一种设备控制器可以识别和使用的信息帧结构，独立于物理层介质，可以承载多种网络类型。Modbus 协议把通信参与者规定为“主站”（Master）和“从站”（Slave），数据和信息的通信遵从主从模式，当它应用于标准Modbus网络时，信息被直接传送。Modbus总线网络中的各个智能设备通过异步串行总线连接起来，只允许一个控制器作为主站，其余智能设备作为从站。采用命令、应答的通信方式，主站发出请求，从站应答请求并送回数据或状态信息，从站不能够自己发送信息。Modbus 协议定义的各种信息帧格式描述了主站控制器访问从站设备的过程，规定从站怎样做出应答响应，以及检查和报告传输错误等。网络中的每个从设备都必须分配给一个唯一的地址，只有符合地址要求的从设备才会响应主设备发出的命令。

由于 Modbus 总线系统的开发成本低，简单易用，并且现在很多工业控制器、PLC、变频器、显示屏等都具有Modbus通信接口，所以它已经成为一种公认的通信标准。通过Modbus总线，可以很方便地将不同厂商生产的控制设备连成工业网络，进行集中监控。

Modbus最初是为PLC通信而设计的，它通过24种总线命令实现PLC与外界的信息交换。这些总线命令对应的通信功能主要包括AI/AO、DI/DO的数据传送。

（1）Modbus协议

Modbus 协议是一种建立分级结构（主从式）的完全开放的异步串行通信协议，可使主站对一个或多个智能型从站进行访问，主站和从站之间允许多点连接。主站和从站可以有以下两种对话方式。

① 查询方式，主站对一个从站进行对话并等待其回应。

② 广播方式，主站对所有从站进行对话（不等待回应）。

在 Modbus协议中，只有主站唯一对数据的交换进行管理，从站不能够自己发送信息。在传输线上，信息的交换是半双工的，即同时

只能有一台设备允许发送信息，主站在发送一条指令之前等待从站回应，从而避免了线路的冲突。当数据交换出现错误时，主站会重新发出访问指令，如果在设定时间内仍未得到回应，主站将认为所访问的从站不存在。

Modbus 协议可以实现主站和从站之间的数据交换及检验，因而在每个从站单元中都定义有数据区以使主站能够对其中的数据进行读出或写入操作。主站在信息交换中是主动的，它通过从站地址、访问指令、指定数据区（交换的数据）、交换检验的格式访问从站。主站一次可向一个或所有从站发送通信请求（或指令），主设备通过消息帧的地址域来选通从设备。主站发送的消息帧的内容和顺序为：从站地址、功能码、数据域（数据起始地址、数据量、数据内容）、CRC（Cyclical Redundancy Check，循环冗余校验）码。从站应答的信息内容和顺序与主站信息帧基本相同。Modbus 除了定义通信功能码之外，同时还定义了出错码，用于标志出错信息。主站接收到错误码后，根据错误的原因采取相应的措施。从站应答的数据内容依据功能码进行响应，例如功能代码03要求读取从设备中保持寄存器的内容。

在Modbus协议中有两种传输方式，即RTU（Remote Terminal Unit，远程终端单元）和ASCII。在一个系统中只能采用其中一种方式，物理层可以是 RS-232/RS-485，传输速率为4800～19200bit/s。在RTU模式中，1字节的信息作为一个8位字符被发送，而在ASCII模式中则作为两个ASCII字符被发送。如发送字符“20”时，采用RTU模式时为“00100000”，然而采用ASCII模式时则为“00110010”＋“00110000”（ASCII字符的“2”和“0”）。可见，发送同样的数据时，RTU模式的效率大约为ASCII模式的2倍。

RTU方式的格式：

地址	指令	数据	CRC 校验

数据按字节（8位二进制码）传输，包含1个起始位、8个数据

位、1个奇偶校验位（或无校验位）、1个停止位；CRC。

ASCII方式的格式：

头码	地址	指令	数据	奇偶校验	尾码

数据以ASCII码（十六进制）传输，包含1个起始位、7个数据位、1个奇偶校验位（或无校验位）、1或2个停止位；LRC（Longitudinal Redudancy Check，纵向冗余校验），头码为“：”（3AH），尾码为“CR”、“LF”（0DH和0AH）。

ATV58变频器上的Modbus接口物理层为RS-485，采用RTU方式，无奇偶校验位，传输速率必须为19200bit/s，连接介质为屏蔽双绞线，传输距离可达1000m。通过对ATV58变频器内部数据区的访问，Modbus 连接可以管理如下功能：读出/写入若干字（数据交换，读取模式最大为32字，写入模式最大为30字）、写入一个输出字、交换诊断功能（从站无法执行指令返回信息）。详细功能如表6-5所示。

表6-5 Modbus协议指令代码及其功能

代　　码	功　　能	广 播 方 式	ATV58
03	读 *N* 个输出字		32
04	读 *N* 个输入字		32
06	读 1 个输入字	YES	YES
08	诊断		YES
11	读事件计数器		YES
16	写 *N* 个输出字	YES	30

（2）CRC校验的实现

在Modbus通信的RTU模式中，规定信息帧的最后两个字节用于传递CRC码。发送方将信息帧中的地址域、功能码、数据域的所有字节按规定的方式进行移位并进行XOR（异或）计算，即可得到2字节的CRC码，并把包含CRC码的信息帧作为一连续的流进行传输。接收方在收到该信息帧时，按同样的方式进行计算，并将结果同收到的CRC码的双字节比较，如果一致，就认为通信正确，否则认为通信有误，从站将发送CRC错误应答。

RTU模式一般采用CRC-16冗余校验方法。CRC-16的校验码为16位（2字节），其中低字节在前，高字节在后。实现CRC校验有两种方法：根据CRC校验的定义公式进行计算，或者在程序中建立 CRC校验值表。在程序中使用前者更容易实现，需要使用 CRC 生成多项式X16 + X15 + X2 + 1。该多项式对应的码组系数为18005H（十六进制），去除最高位，对应的16位余数为8005H，即为CRC-16常数。CRC-16校验过程如下：将CRC寄存器的每一位预置为1；把该寄存器的值与8位的信息帧数据进行异或，结果存于该寄存器中；对CRC寄存器从高到低进行移位，在最高位（MSB）的位置补零，而最低位（LSB，移位后已经被移出CRC寄存器）如果为1，则把寄存器与CRC-16常数进行异或，如果LSB为零，则无须进行异或。重复上述的由高至低的移位操作8次，第一个8位数据处理完毕，用此时寄存器的值与下一个8位数据异或并进行同以前一样的8次移位。所有的字符处理完毕后，CRC寄存器内的值即为最终的CRC值。将CRC值添加到消息中时，首先加入低字节，然后加入高字节。图6-25为CRC-16子程序框图。

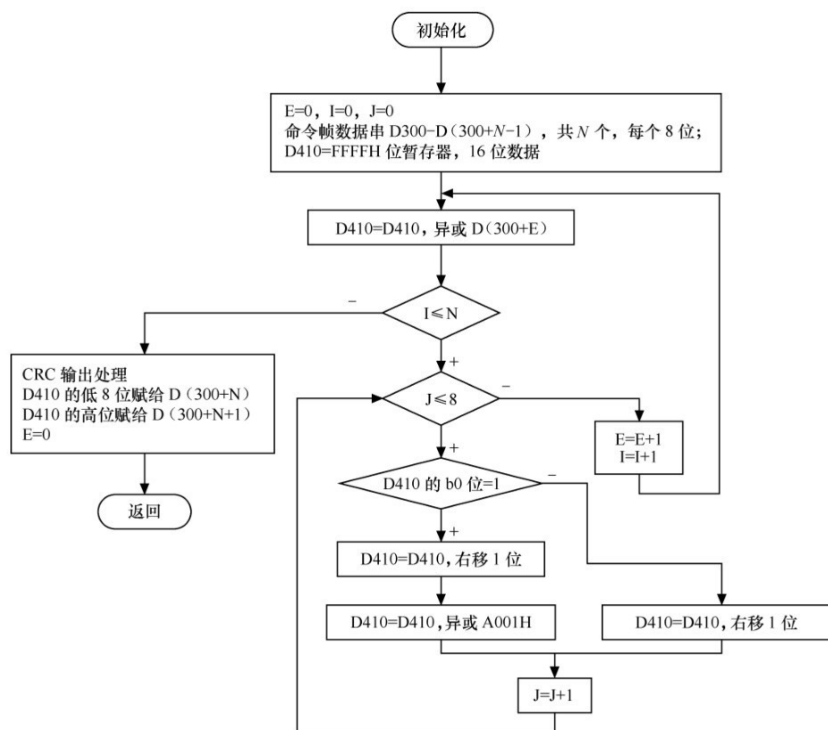


图6-25 CRC-16子程序框图

（3）链路特征

Modbus标准的物理层可以采用RS-232串行通信方式，但在长距离通信中常采用RS-422或RS-485代替。在多点通信情况下只采用RS-485方式，所以RTU模式下的Modbus系统采用屏蔽双绞线，通信距离可达 1000m。一条总线上最多可配置 31 个从站设备。传输线上的信息交换是半双工的，即同时只能有一台设备允许发送信息，主站在发送下一条指令之前等待从站回应，从而避免了线路的冲突。

RTU模式的传输格式是1个数据位、2个停止位，没有奇偶校验位。通信数据安全由控制参数CRC-16码保证。RTU接收设备依靠接收字符间经过的时间判断一帧的开始，如果经过3个半的字符时间后仍然没有新的字符或者没有完成帧，接收设备就会放弃该帧，并设下一个字符为新一帧的开始。

在采用Modbus总线构建的SCADA系统中，主站和从站中的控制

设备都要实现Modbus通信协议。主站控制器通信协议的实现过程如图6-26所示。

2．系统构成

采用自带Modbus总线接口的变频器，以PLC、微处理器或者PC作为主站控制器的自动控制系统的组成原理如图6-27所示。在图6-27中的微控制器AT89S52扩展了两个通信端口，一个是RS-232串口预留备用，另外通过芯片MAX-485扩展RS-485接口。AT89S52作为主站微控制器，它通过RS-485总线方式将多台具有ModbusRTU接口的智能型从站设备组成一个数字通信控制网络，在总线的两个终端需配置120□电阻。AT89S52 可以向从站变频器发送参数设置、启停、数据查询等指令，而变频器则根据指令要求控制电动机运行并返回信息。该系统不仅可以实现对交流电动机的远程控制，而且还可以通过AT89S52与人机界面连接，完成整个生产线的启动、升速、降速、停车等操作和监控（模拟图显示、参数设置和历史记录数据浏览）。该系统的优点如下。

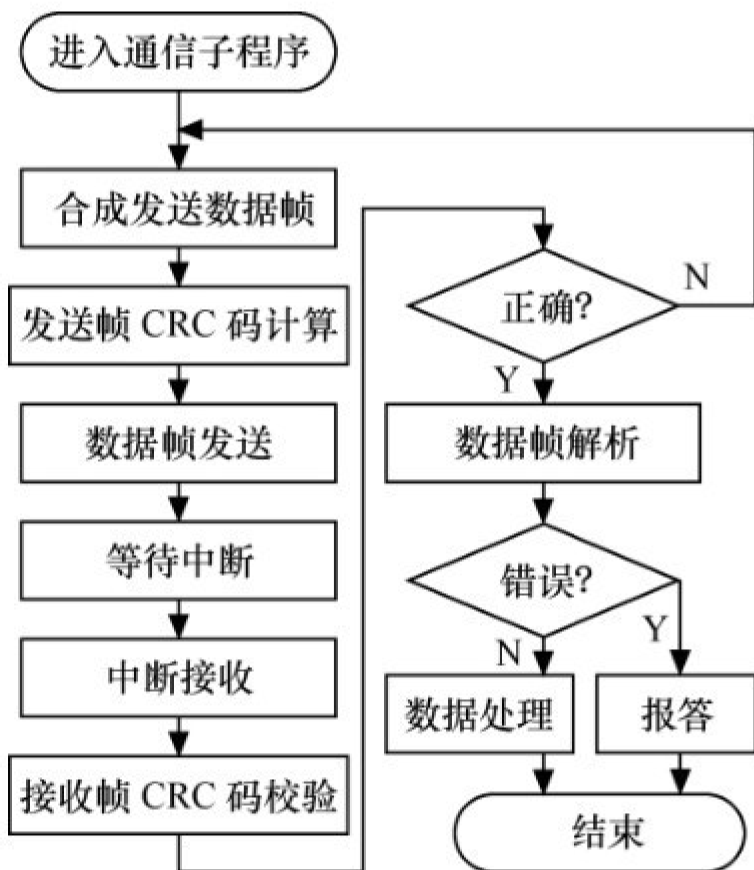


图6-26 Modbus通信协议的实现过程

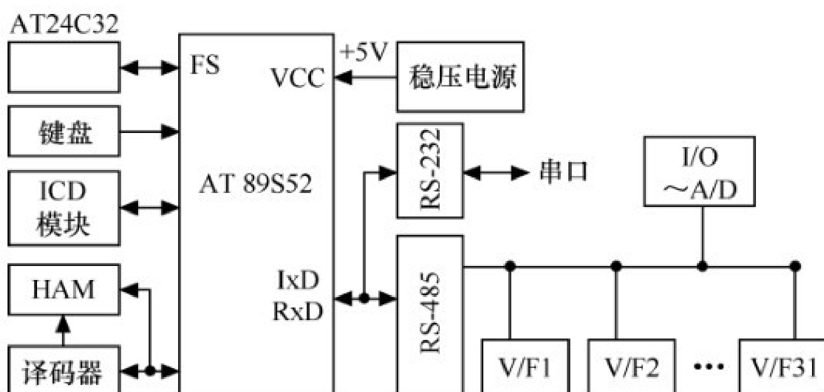


图6-27 Modbus控制系统的组成原理

① AT89S52直接利用Modbus协议对变频器进行读写，无须使用其他附件进行组态，简化了硬件，并可实时获取各变频器的工作状态，包括运行状况、运行参数、故障报警等。

② 主站控制器与从站变频器之间的连接只有两根通信线，降低了线路连接的复杂性，提高了系统的可靠性。

③ 延长了系统的控制距离。

④ 采集电动机各运行参数并显示在LCD上，不需要各种现场智能仪表，极大地降低了线路连接的复杂性。

⑤ 能与高精度网络方便地进行交换信息，从而实现工厂的高度自动化。

通过主站控制器的设置按钮，可以对系统操作参数进行设置，将一些重要的参数直接存储在32KB的E^2 PROM芯片中。通过设置变频器的参数，可以实现系统运行在手动或程序自动控制模式下，并可自由切换。变频器VS606V7的功能码描述见表6-6。

表6-6 变频器VS606V7的功能码描述

功能码（HEX）	功　能	指令信号		响应信号	
		最小（位）	最大（位）	最小（位）	最大（位）
06H	读取寄存器内容	8	8	7	37
08H	循环反馈测试	8	8	8	8
10H	写入寄存器	11	41	8	8

3．系统软件设计

微处理器程序使用C51语言编写，采用自上而下的模块化设计方法，整个程序包括系统初始化、串口发送、串口中断接收、RS-485通信、LCD显示、键盘接收、报警等功能子模块。在应用程序中，Modbus协议通信由通信子模块实现，包含CRC-16计算与验证、信息帧的编制和分解。



图6-28 Modbus总线通信流程

每一条指令都可以对指定地址的变频器进行操作，信息帧中包括数据的字节数、起始地址等。V7变频器只使用3个功能码，即03H、08H、10H，分别实现数据读出、回路反馈测试和数据写入的功能，其描述如表6-6所示。为了实现Modbus总线控制，需要预先设置变频器的操作参数：n003 ＝ 2（设备启停通过总线方式控制），n004 ＝ 6（输出频率由总线通信方式控制），在 n151～n157 中完成通信参数的设置。在系统中，将变频器设置为无超时检测、频率指令单位为0.01Hz、通信速率为9600bit/s、无奇偶校验、8位数据位、1位停止位、RS控制，而变频器地址可以设为0～32。设置好变频器参数之后，控制器可以通过RS-485总线发送通信指令，通信流程如图6-28所示。微处理器的主站指令与变频器的响应信号之间具有一定的时间间隔，在程序中需要通过循环延时语句实现。

4．ATV58变频器的通信功能

ATV58变频器提供如下3种通信功能。

① 集成在本机上的通信接口，该接口即变频器操作面板接口，它提供了一个RS-458连接的简化的Modbus协议接口。

② 通过附加通信卡实现的高速通信接口，提供了可以同时连接多达62台变频器、最高传输速率达1Mbit/s的高速通信接口，主要有：

• FIPIO总线，通过FIPIO通信卡（VW3-A58301）连接；

• ModbusPlus网络，通过ModbusPlus通信卡（VW3-A58302）连接；

• Interbus-S总线，通过Interbus-S通信卡（VW3-A58304）连接；

• AS-i总线，通过VW3-A58305通信卡连接；

• Profibus现场总线，通过Profibus通信卡（VW-3A58307）连接。

③ 通过附加通信卡实现的低速通信接口，主要用于与标准总线连接，包括Uni-Telway、ModbusRTU、ModbusASCII总线，通过Uni-

Telway　　Modbus通信卡（VW3-A58303）和RS-485通信卡（VW3-A58306）连接。

上述接口的主要特性如表6-7所示。

表6-7 ATV58通信接口的特性

协议	基本接口 Modbus（从站）	高速通信				低速通信 Uni-Telway、Modbus RTU 和 Modbus ASCII
		FIPIO	Modbus Plus	Interbus-S	AS-i	
最多可连接的变频器台数	18	62 个地址，但对于 PLC 仅可最多连接 52 个	55 台变频器，同时最多有 64 个站，同时有一个站对变频器进行监控	62 台变频器（与 Premium 的 IBY100 结合）	31	28
传输速率	19200bit/s	1Mbit/s	1Mbit/s	500kbit/s	166kbit/s	4800～19200bit/s
传输距离	1km	15km（光缆）	1.8km	13km	100m	1km
网络或总线的特性（理论上）	最多 256 个地址	最多 128 个站，地址 0 用于总线仲裁，地址 64 保留	最多 64 个站	最多 256 个站	最多 31 个站	对 Uni-Telway 有 31 个可选地址接 28 台设备（通过开关）

DRIVECOM标准是变频器制造商为实现其设备的基本功能标准化而制订的一个统一格式，以保证用户可以对不同的设备进行相同的操作，可实现一台符合DRIVECOM标准的设备可以被另一台符合同样标准的设备所替换，而上位系统（PC或PLC）对该设备的处理程序是相同的。

DDRIVECOM 标准为变频器的处理过程提供一份状态图，图中的每个步骤清晰地表明了变频器的相应状态，变频器的状态由变频器内部的状态寄存器（ETA）的值给出，同时可以通过发送一个控制字（CMD）对其进行修改。

ATV58 变频器串行通信连接（包括高速和低速通信功能）的处理过程依从　DRIVECOM标准，同时其内部数据区提供了变频器操作的全部通信变量。ATV58变频器的几个典型内部通信变量见表6-8。

表6-8 ATV58变频器的典型内部通信变量

写入操作		读出操作	
地址代码	说明	地址代码	说明
400CMD	DRIVECOM 命令寄存器	450FRH	给定频率
401LFR	在线给定频率	451RFR	电动机输出频率
252ACC	加速度	454ULN	线电压
253DEC	减速度	457LFT	上一次故障
254UFR	IR 补偿	458ETA	DRIVECOM 状态寄存器

取下ATV58变频器的操作面板，可以看到本机上的Modbus 9针D型接口。该RS-485接口的引脚定义如下。

① ③脚，D（A）。

② ⑦脚，D（B）。

③ ④脚，0V。

以PC、PLC或人机界面（Magelis）为主站，根据Modbus协议，依从DRIVECOM标准编写从站访问程序，通过对ATV58变频器内部通信变量的访问，即可实现Modbus通信功能。ATV58 变频器应用通信功能时，其端子控制功能是无效的，但可以通过对 ATV58 变频器的逻辑输入进行编程，以一个外接触点的输入将变频器强制变为本地控制方式，即端子控制。ATV58变频器的Modbus通信参数需要通过操作面板预先设置。

① 控制菜单（CTL：4-CONTROL）。

② 端子控制（LCC：KeypadComm.）——No（不采用端子控制）。

③ 变频器地址（Add：DriveAddress）——1，2，…，18（Modbus子站地址）。

在 PLC 的软件编程中，通过下列指令可以实现对 ATV58 变频器内部通信变量的访问（m，模块；v，通道；i，从站地址）。

读变量：

```
READ_VAR（ADR#m，v，I，%MW，450，10，%MW3101；10，%MW3150；4）
```

将ARV58变频器的地址450～459中的数据读入PLC内部数据区%MW3101～3110内，通信正常与否等通信管理数据存入%MW3150～3153中。

写变量：

```
WRITE_VAR（ADR#m，v，I，%MW，400，3，%MW3001；3，%MW3050；4）
```

将PLC内部数据区%MW3001～3003中的数据写入ATV58地址400～402中，通信正常与否等通信管理数据存入%MW3050～3153

中。

变频器运行、停止、故障后重启等操作控制须依从DREVECOM标准编写相应的程序。

6.2.5 华为TD2000变频器的通信控制网

华为 TD2000 系列变频器可以采用单监控主机多变频器从机控制方式（即“单主多从RS-485”方式）和单监控主机单变频器从机控制方式（即“点对点RS-232”方式）进行组网控制。TD2000系列变频器的通信控制方式可通过功能码F000和F002进行设置，见表6-9。

表6-9 TD2000系列变频器通信控制方式的选择

功　能码	内　　容	作　　用
F000	5	运行频率设定方式：上位机串口设定
F002	2	运行命令：上位机串口控制

1．物理接口

（1）物理接口方式

RS-232：异步，全双工。

RS-485：异步，半双工。

RS-232和RS-485之间的选择可由控制板上的跳线CN14、CN15来完成。

（2）数据格式

1位起始位、8位数据位、1位停止位、无校验；

1位起始位、8位数据位、1位停止位、奇校验；

1位起始位、8位数据位、1位停止位、偶校验。

默认为 1 位起始位、8 位数据位、1 位停止位、无校验。数据格式的选择可通过功能码F117进行设置。

（3）传输速率

TD2000系列变频器的通信速率可供选择的参数有：300bit/s、600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19200bit/s、38400bit/s。默认值为　9600bit/s。传输速率的选择可

通过功能码F116进行设置。

2．协议格式

TD2000 系列变频器的通信协议采用ASCII码变长单参数自主开放协议，其中每个所发送的字节都遵守ASCII规范，即用1字节的ASCII字符30H～39H、41H～46H表示0～F的十六进制数。数据包格式如图6-29所示。

发送顺序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	数据包头	从机地址	从机地址	命令响应	命令响应	辅助索引	辅助索引	命令索引	命令索引	运行数据	运行数据	运行数据	运行数据	校验和	校验和	校验和	校验和	数据包尾
定义	头	地址		命令区		索引区				数据区				校验区				尾
发送字节	1	2		2		4				4				4				1

图6-29 数据包格式

① 数据包头。每次所发送信息的第一个字节，固定为7EH＝“～”。

② 从机地址。变频器从机的本机地址，为十六进制数，两个字节，设置范围为01H～7EH。7EH ＝ 127 号地址是广播地址，00H ＝ 0 号地址为预留地址。在变频器上可通过功能码 F118设置本机地址。

③ 命令响应。当主机发送时为命令，完成通信功能，如对变频器进行启动、停止、频率设置、参数读取等。当从机（变频器）发送时为对主机命令的响应或工作状态的反馈。十六进制数，两个字节。

④ 索引。包括辅助索引和命令索引两部分，是对命令响应码进行的详细说明，如变频器采取哪种方式运行，读取哪个参数，变频器的停车方式是什么等。十六进制数，4个字节。

⑤ 运行数据。描述运行参数或设置参数，十六进制数，4个字节。可根据命令的不同而省略，是一种变长通信协议。协议中的数据可根据不同的参数对应不同的单位，设定频率参数的单位为0.01Hz，如对变频器的频率设置为3000D，则变频器的实际设定频率为3000 × 0.01Hz ＝ 30Hz。

⑥ 校验和。十六进制数，4个字节，为所发送数据包中从“从机地址”到“运行数据”所有字节对应的ASCII字符的累加和（十六进制），再转换为4个字节的ASCII码。如不够4个字节，前面补零。如一校验和为3B7H，则补为03B7H。

⑦ 数据包尾。每次所发送信息的最后一个字节，固定为0DH，即“回车符”。

3．系统的物理链接

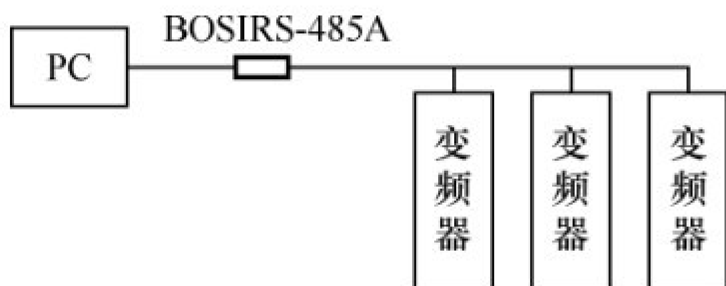


图6-30 系统网络配置图

在变频器与上位机的通信系统中，计算机的RS-232接口通过一个BOSIRS-485A转换为RS-485构成通信网络，变频器作为从机组成“单主多从”通信网，通信介质为屏蔽双绞线，屏蔽层一点接地，总线的两个物理终端需接入终端电阻（电阻值为120Ω）。系统的网络配置如图6-30所示。

Visual Basic以其面向组件的新技术及较强的硬件控制能力而著称，利用这种语言开发串行通信程序是通过ACTIVEX控件，采用事件驱动的方式实现的。

（1）MSComm32控件

从机地址　1# 从机

运行控制

开机	正转	点动	点动正转	故障复位
停机	反转	自由停车	点动反转	紧急停车

频率设置　0000　设置　注：精确度为 0.01Hz。

运行参数：

输出频率 ▼　00　Hz

图6-31 系统的主控制界面

MSComm32控件是Visual　Basic自带的一个控件，为黄色的电话机状组件，属于非常用控件。应用时首先要求注册，把它放到表单上，然后设置其属性：CommPort＝1，　　InBufferSize＝1024，InPutLen＝0，OutBufferSize＝1024，RTHreshold＝18，RTSEnable＝False，　　settings＝9600,N,8,1。其中传输速率设为9600bit/s，校验码为无校验，8 位数据位，1 位停止位。通信时驱动MSComm32控件的ONCOMM事件。

（2）可视化界面

Visual　Basic等可视化编程软件最直观的优点就是操作界面可视化，这样使得程序员的编程和操作员的操作都比较方便。图6-31为此系统的主控制界面，其中包含了一些常用的控制按钮。“开机”等按钮为单个孤立的控件，设计时可单独进行设置和编程。

（3）编程

利用 Visual Basic 可以对单个控件的某一个事件进行编程，运行时事件与事件之间互不影响，这样使编程过程大大简化，调试更加方便。

6.2.6 CX变频器与PLC的通信

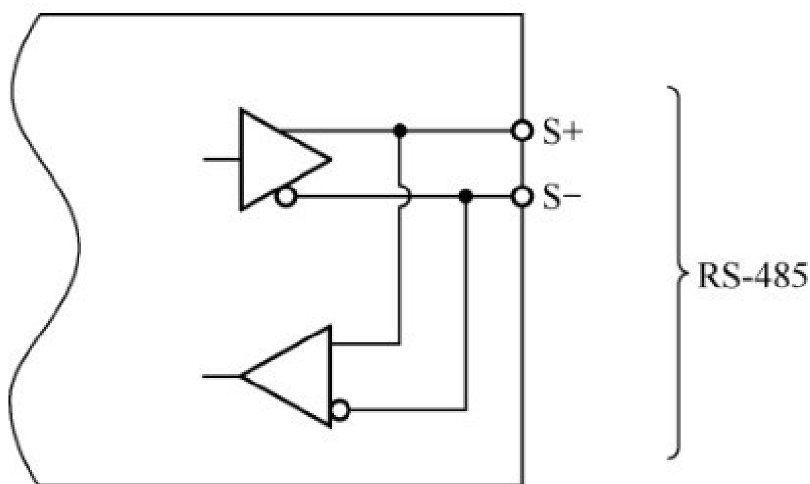


图6-32 CX变频器联机方式

CX变频器使用RS-485通信接口，以ModbusRTU模式的通信协议与外界通信，传输速率为 2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19200bit/s（由变频器参数Pn70 设定）。联机方式如图6-32所示。

1．通信协议说明

在ModbusRTU模式的通信协议中，一个信息由4部分组成，即slave地址、功能码、资料及CRC-16检查资料，并按次序送出。每一个信息的开始与结束，皆以3.5个字符的间隔时间来做识别（T1～T4：字符时间）。

在RTU模式中，字符的格式见表6-10。

表6-10 字符格式

有同位检查	start	1	2	3	4	5	6	7	8	parity	stop
没有同位检查	start	1	2	3	4	5	6	7	8	stop	stop

（1）slave地址（Slaveaddress）

由Pn69可设定每一台变频器的地址，设定范围为01～31。由主机发出的信息可以被所有共同连接的从机接收，但仅有地址与信息中从机地址设定相同的从机才会执行此信息。当信息中的从机地址设定为0时，所有共同连接的从机皆可收到信息并执行此信息，但此信息仅能用于RUN/STOP、FAULTRESET和频率命令的设定。此时从机只会接收主机送来的信息，而不会响应任何信息给主机。

（2）功能码（Functioncode）

功能码及其功能见表6-11。

表6-11 功能码及其功能

功　能　码	功　　能	备　　注
03H	读取 Holdingregister 内的资料	
08H	回路测试	
10H	写入资料到 Holdingregister 内	从机地址可设定为 0

（3）资料（Data）

因每一种功能需要的资料不尽相同，在“信息模式”中可根据功能选择不同的信息资料。

（4）CRC-16检查资料

CRC-16是一个16位二进制数，计算CRC-16的步骤如下。

① 先设定CRCregister为FFFFH。

②　　将CRCregister的低字节与信息中的第一个字节进行异或运算，并将结果传回CRCregister的低字节。

③ CRCregister右移1位，在最高位填入0。

如果LSB是0，重复步骤②；如果LSB是1，则CRCregister与A001H进行异或运算。

④ 重复步骤②及③，直到已经右移8位为止。

⑤ 对信息的下一个字节，重复步骤①～④，直到信息中的所有字节都处理完。

⑥ 此时CRCregister中的值即为CRC-16data。

在传送CRC-16检查数据时，先传送低字节的检查数据，再传送高字节的检查数据。

（5）响应信息

变频器如果有响应信息，在接收完命令信息约 20ms 以后，才可能送出响应信息。而写入 0400H 地址，变频器进行参数记忆，约 1s 后才可能送出响应信息。在以下情形下变频器没有响应信息。

① 在接收信息过程中，检出通信错误（parityerror、framingerror、overrunerror 或CRC-16error）时。

② 命令信息中的从机地址与参数Pn69（变频器地址）不相同时。

2．信息格式

7200CX仅使用3种命令：读取、回路测试及写入。信息长度见表6-12。

表6-12 信息长度

命令	功能码	功　能	命令信息		响应信息	
			Byte（Min）	Byte（Max）	Byte（Min）	Byte（Max）
读取	03H	读取 Holdingregister 内的资料	8	8	7	21
回路测试	08H	回路测试	8	8	8	8
写入	10H	写入资料到 Holdingregister 内	11	25	8	8

一次可同时写入的Holdingregister最多为8个，在写入命令中可以设定从机地址为0，此时所有线上的从机都会收到此信息，但仅能设定RUN/STOP、FAULTRESET和频率命令等资料，此时从机不作任何响应。利用写入命令改变的参数在关机时并未存入E^2 PROM中，只有在PRG模式下写入0400H地址，方可记忆。

3．RS-485通信范例

利用PLC经由RS-485接口来控制变频器地址为5的7200CX，执行图6-33所示的运转操作程序。

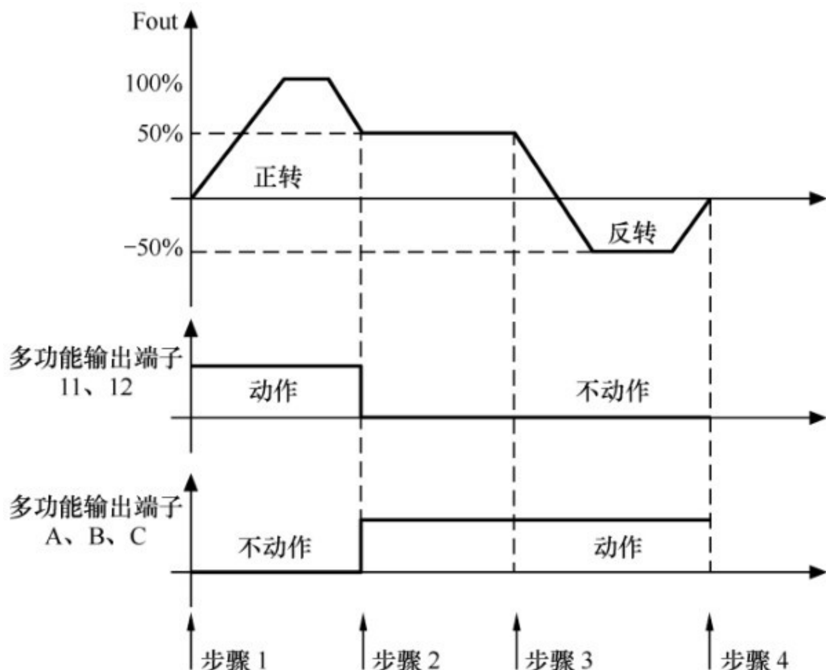


图6-33 运转操作程序

① 控制7200CX以100%速度正向运转，同时多功能输出端子11、12动作。

② 控制7200CX以100%速度到50%速度，多功能输出端子11、12不动作，而多功能输出端子A、B、C动作。

③ 控制7200CX以50%速度反向运转，同时多功能输出端子A、B、C动作。

④ 控制7200CX以50%速度停止，同时多功能输出端子A、B、C仍然保持动作状态。

6.2.7 PC 对多台TD3000变频器的实时监控

1．系统的硬件连接

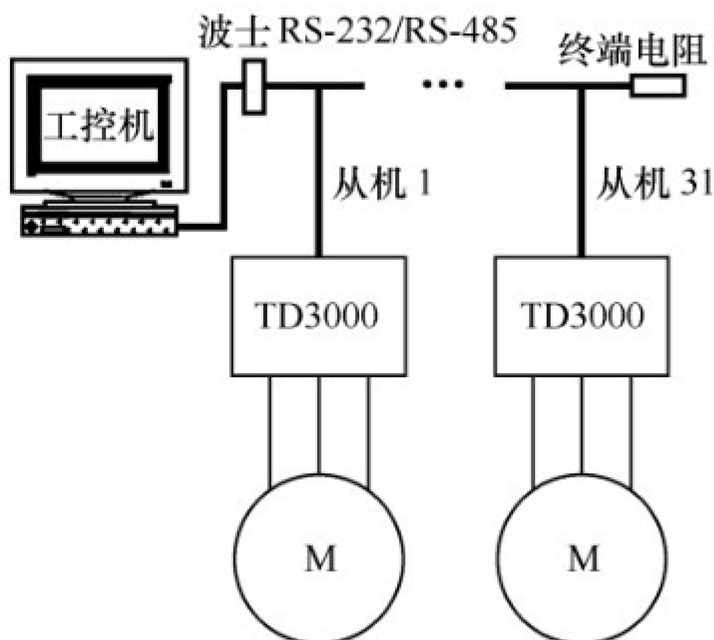


图6-34 系统配置图

TD3000是 EMERSON 公司生产的高性能矢量控制变频器，能以很高的控制精度进行宽范围的调速运行。它带有内置的标准 RS-485通信接口，通过转换器可方便地与上位机进行串行通信，实现上位机对变频器功能码的快速修改及运行状态的直观监控，并实现组网监控运行。系统配置如图6-34所示。

计算机的RS-232接口通过一个RS-232/RS-485转换器转换为RS-485接口，以TD3000变频器作为从机组成“单主多从”通信控制网（单监控主机多变频器从机），通信介质为屏蔽双绞线，屏蔽层一点接地。变频器串行通信接口端子的接线如图6-35所示。

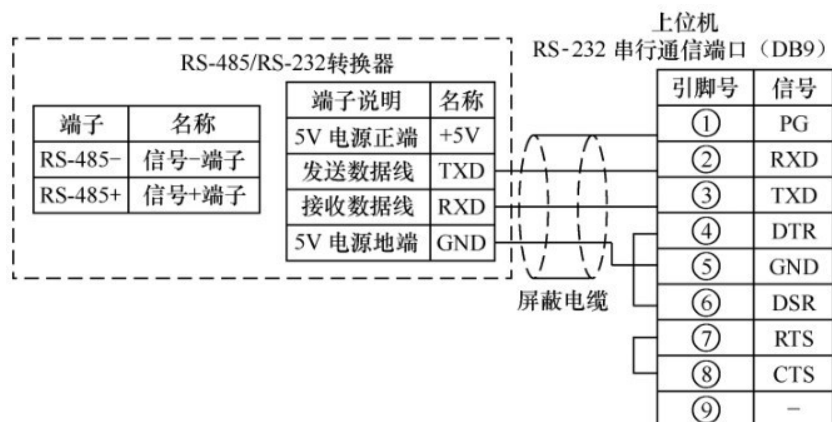


图6-35 通信端口接线图

2．TD3000变频器的串行通信协议及相关参数设置

在TD3000的通信协议中，上位机与变频器之间的通信是通过交换命令和应答实现的。

① 物理接口。RS-485 总线接口采用异步、半双工通信方式，总线上每段最多可挂接 32个站（最多31个从站），可用中继器扩展至127个站（包含中继器）。

② 数据格式。

1位起始位、8位数据位、1位停止位、无校验；

1位起始位、8位数据位、1位停止位、奇校验；

1位起始位、8位数据位、1位停止位、偶校验。

默认为1位起始位、8位数据位、1位停止位、无校验。

③ 传输速率。TD3000变频器的通信速率有以下几种可供选择：9600bit/s、19200bit/s、38400bit/s、125kbit/s。默认值为9600bit/s。

④ 通信地址。从机的本机地址设置范围为 2～126。127 号为广播地址，主机广播时，从机不允许应答。

⑤ 通信方式。上位机为主机，变频器为从机，采用主机“轮询”、从机“应答”方式。

⑥ 协议类型。协议采用长短帧结构，短帧用于独立传送自动控制

系统所需的控制字和状态字，长帧既包括控制字和状态字又含有涉及操作控制、观测、维护以及诊断等的内容（所具有的内容受变频器自身功能的限制），特殊报文用于获取从站的软件版本和机器型号信息。

⑦ TD3000变频器的参数设置。使用通信方式控制变频器时，应对变频器的通信数据格式、传输速率、通信地址等进行设置。下面是对TD3000变频器的参数设置。

F0.03 ＝ 6频率设定方式选择“通信给定”。

F0.05 ＝ 2运行命令选择“通信控制”。

F9.00 ＝ 3串行通信时的传输速率设定为9600bit/s。

F9.01 ＝ 0串行通信时的数据格式采用“N，8，1”，即1位起始位、8位数据位、1位停止位、无校验。

F9.02 ＝ 2本机地址设置为2号从机。

3．数据帧的结构

数据帧的结构见表6-13。

表6-13 数据帧的结构

<table>
<tr><td>起始字节（1字节）</td><td>从机地址（1字节）</td><td>功能码操作命令/响应（1字节）</td><td>功能码号（1字节）</td><td>功能码设定/实际值（2字节）</td><td>控制/状态（2字节）</td><td>主设定/实际值（2字节）</td><td>异或校验（1字节）</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">帧头</td><td colspan="3">参数数据</td><td colspan="2">过程数据</td><td rowspan="2">帧尾</td></tr>
<tr><td colspan="5">用户数据</td></tr>
</table>

帧头：包括起始字节（特殊报文，68H；短帧，7EH；长帧，02H）和从机地址（范围为2～126，127号地址为广播地址，0、1号地址保留）。

帧尾：包括校验数据（异或校验，计算方法为本帧数据字节的连续异或）。

用户数据：包括参数数据和过程数据两部分（在短帧中没有参数数据），其中参数数据包括功能码操作命令/响应、功能码号、功能码设定/实际值。

过程数据：包括主机控制命令/从机状态响应、主机运行设定/从机运行实际值。当主机发送时为“命令”或“设定值”，如对变频器进行

开机、关机、正反转、频率设置、参数读取等操作；当从机（变频器）发送时为对主机命令的“响应”或工作状态及参数“实际值”的反馈。数据发送遵循先发高字节、再发低字节的原则。如果功能码操作不正确，则用低字节返回操作错误代码，此时高字节为 0。变频器的运行控制既可以用长帧实现，也可以用短帧实现。长帧的格式如图6-36所示。

计算机到变频器:

发送顺序（字节）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	起始字节	从机地址	命令字	功能码号	功能码设定值	功能码设定值	控制字	控制字	运行数据设定	运行数据设定	异或校验
字节定义	头	地址	命令区		参数区		控制区		数据区		校验

变频器到计算机:

发送顺序（字节）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	起始字节	从机地址	响应字	功能码号	功能码设定值	功能码设定值	状态字	状态字	运行数据设定	运行数据设定	异或校验
字节定义	头	地址	命令区		参数区		控制区		数据区		校验

图6-36 变频器的运行控制长帧的格式

4．监控界面

图6-37所示是监控系统的主控制界面，对TD3000的开机、关机、正转、反转、点动正转、点动反转、自由停车、紧急停车、故障复位等控制通过点击窗口上相应的运行控制按钮来实现。如果点击右边的“运行参数”按钮，即可进入变频器运行参数监控界面，实时监视变频器的运行频率、设定频率、运行转速、设定转速、输出电流、输出电压、闭环反馈、闭环设定、变频器当前状态等。

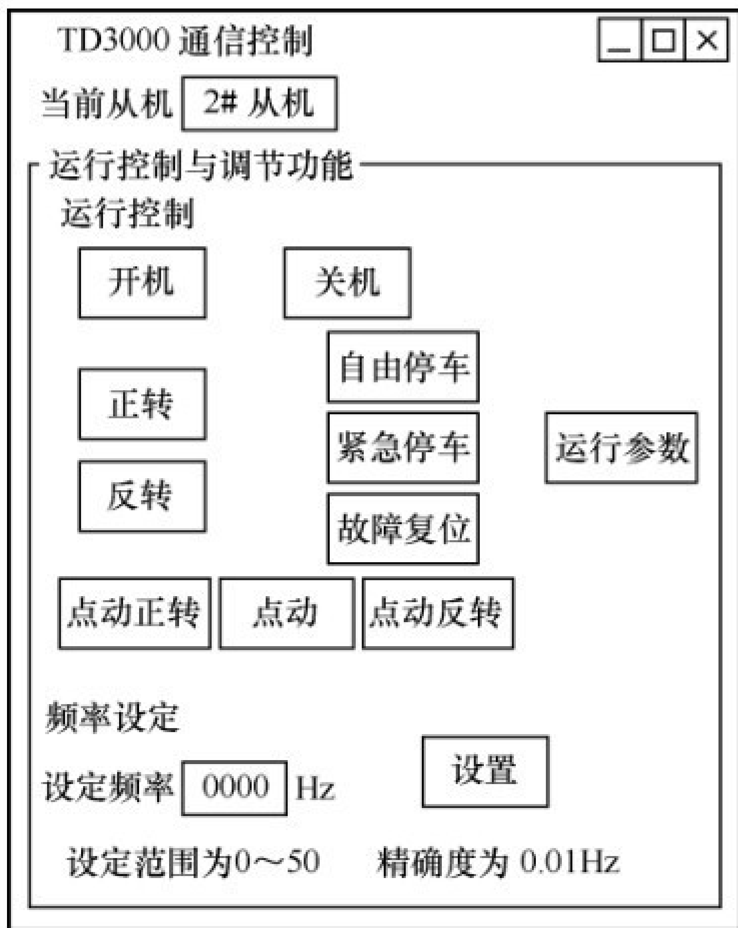


图6-37 人机界面

对于基于RS-485总线的计算机对变频器的通信过程，应注意以下事项。

① 在实际的运行过程中，长帧和短帧，有时会出现不能同时发送的情况，这是因为变频器对指令的处理时间与所设置的传输速率不协调，以致不能辨认数据帧，这时可以改变一下传输速率，使之协调。

② 两个通信帧之间要保证有两个字节以上传输时间的间隔，确保准确识别报文头。

③ 在读取参数时，会出现所返回的数据不能够稳定地固定在某一

个范围内而返回错误数据的现象。这是因为发送数据与接收数据的间隔设置不当，以至于变频器还没有正确处理完数据时就已经读出错误数据。

④　使用MSComm控件时，不能以数字串的形式直接发送，而要以字节形式发送，同时在接收时要用二进制的形式来取回数据，否则通信就不能成功。

6.2.8 基于Profibus-DP现场总线的PLC与变频器的通信

1．数据传输的结构

传动装置通过Profibus-DP网与主站PLC的连接是经过通信模块CBP板来实现的，带有DP端口的S7-300和S7-400 PLC也可以通过CPU上的DP端口来实现连接。采用RS-485接口，支持9.6kbit/s～12Mbit/s传输速率，数据传输的结构如图6-38所示，其中数据的报文头尾主要用来规定数据的功能码、传输长度、奇偶校验、发送应答等内容。主、从站之间的数据读写过程如图6-39所示。核心的部分是参数接口（简称PKW）和过程数据（简称PZD），PKW和PZD共有5种结构形式，即PPO1、PPO2、PPO3、PPO4、PPO5，它们传输的字节长度及结构形式各不相同。在设置PLC和变频器通信方式时要对数据传输的结构进行选择，每一种类型的结构形式如下。

报文头	参数接口（PKW）	过程数据（PZD）	报文尾

图6-38 数据传输的结构

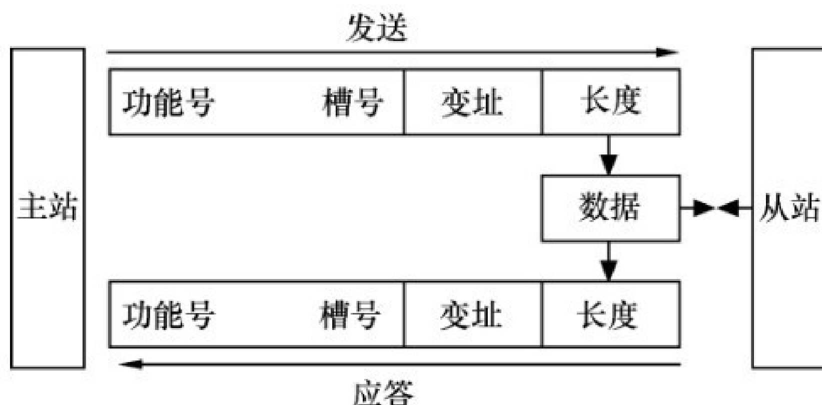


图6-39 主、从站间的数据读写过程

PPO14PKW ＋ 2PZD（共由6个字组成）。

PPO24PKW ＋ 6PZD（共由10个字组成）。

PPO32PZD（共由2个字组成）。

PPO46PZD（共由6个字组成）。

PPO54PKW＋10PZD（共由14个字组成）。

参数接口（PKW）由参数ID号（PKE）、变址数（IND）、参数值（PWE）3部分组成。过程数据接口（PZD）由控制字（STW）、状态字（ZSW）、主给定（Mainsetpoint）、实际反馈值（Mainactualvalue）等组成。另外，要了解和掌握控制字和状态字每一位的具体含义，并熟悉西门子变频器参数的具体应用，在通信参数设置时需要具体定义。

2．实现通信的软硬件要求

（1）硬件要求

① 133MHz以上且内存不小于16MB的编程器。

② 西门子S7-300/400系列PLC，RAM容量不小于12KB，并带有Profibus-DP接口，或是S7-400（RAM容量不小于12KB）配CP443-5的通信板。

③ 具有CBP通信模块和带CU2/SC的VC板的变频器。

（2）软件要求

① Windows 95或Windows NT（4.0以上版本）。

② STEP7（3.0以上版本）。

③ 安装DVA-S7-SPS7。

3．传动参数的设置

① P053 ＝ 3参数使能。

② P090 ＝ 1CBP板在2#槽。

③ P918 ＝ 3从站地址。

④ P554.1 ＝ 3001控制字PZD1。

⑤ P443.1 ＝ 3002主给定PZD2。

⑥ P694.1 ＝ 968状态字PZD1。

⑦ P694.2 ＝ 218实际值PZD2。

4．**PLC**与传动变频器通信程序

要实现通信功能，正确的程序编写是非常重要的，下面将以西门子S7-416 PLC和6SE70变频器为例介绍通信程序的编写方法。

（1）基本配置和定义

① 主站为CPU-416-2DP。

② 从站为6SE70传动装置，Profibus-DP地址是3。

③ 输入地址为IW256（2WordsPZD）。

④ 输出地址为QW256（2WordsPZD）。

⑤ PPO类型为3。

⑥ 总线接口为RS-485。

（2）使用的功能块

① OB1Maincycle主循环。

② SFC14DPRD-DAT读数据系统功能块。

③ SFC15DPWR-DAT写数据系统功能块。

④　DB100数据存取（DBW0-DBW4是读出，DBW5-DBW8是写入）。

⑤ MW200MW210通信状态显示。

（3）程序编写

OB1

```
NETWORK1:读出数据
CALLSFC14
LADDRW#16#100
RET-VALMW200
RECORDP#DB100.DBX0.0BYTE4
NETWORK2:显示数据
LDB100.DBW0
TMW50
NOP0
NETWORK3:写入数据
LW#16#EFFF
TDB100.DBW5
NETWORK4:发送数据
CALLSFC15
LADDRW#16#100
RECORDP#DB100.DBX5.0BYTE4
RET-VALMW210
```

对程序进行存储、编译、下装，检查传动装置的参数设置，确认无误后即可上电进行调试。

6.2.9 三菱变频器与西门子PLC的通信

1．系统配置

三菱A、F、E 系列变频器具有与Profibus-DP 现场总线连接的通信功能，ST系列PLC也能作为该网络的主站。可由主站向变频器发送各类命令，如启/停、多段速选择、频率设定、修改参数、故障复位等；主站从变频器读取相关信息，如运行方向、输入/输出端子状态、运行频率（转速）、电流、电压、参数内容、故障代码等。因此，极大地方便了配有Profibus-DP总线的用户。PLC控制变频器的方法如下。

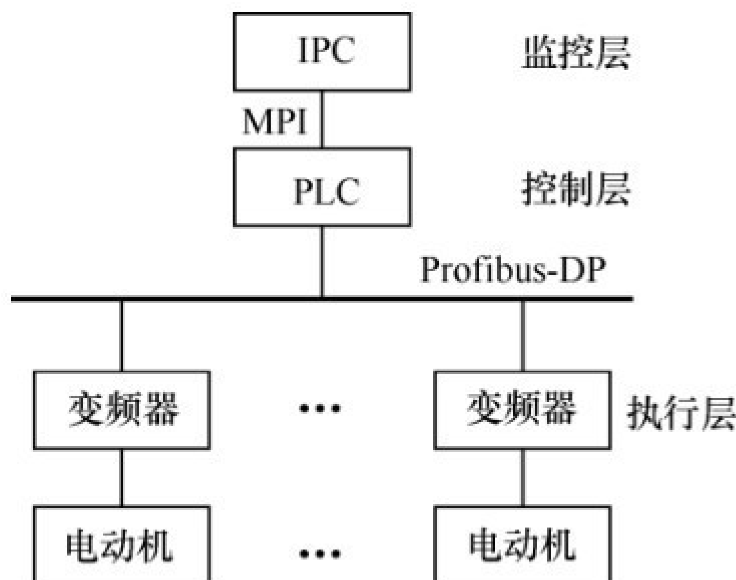


图6-40 基于Profibus-DP总线的控制系统结构图

三菱变频器可内置各种类型的通信选件，如用于 Profibus-DP 现场总线的 FR-A740 选件。 三菱FX系列PLC有对应的通信接口模块与之对接。采用现场总线方式控制变频器的优点为速度快，距离远，效率高，工作稳定，编程简单，可连接的变频器数量多；缺点为造价较高，远远高于采用扩展存储器通信时的造价。

FR系列变频器与Profibus-DP网络的连接是通过安装适配卡FR-A5NP、FR-E5NP、A7NP来实现的，其典型配置如图6-40所示，可以把系统分为3层结构，分别为监控层、控制层和执行层。IPC作为监控层，采用MCGS组态软件，用于对系统进行监控。PLC为控制层，它作为工控机与变频器之间的桥梁，一方面对变频器进行控制，另一方面将生产线上信息（如变频器的速度、报警等）传达给工控机。变频器为执行层，执行 PLC 下达的指令，实现对电动机的控制。

2．基于FR-A5NP、FR-E5NP、A7NP变频器的数据通信

（1）参数设置

用设备数据文件（GSD）使主站识别 Profibus-DP 总线下的设备

功能及特点，在主站设置软件列表中已有部分厂商（包括三菱）的设备数据文件，如驱动、阀门、I/O、HMI、PLC等，可选择与所用从站性质相符的文件。

启动设置软件GXConfigurator-DP，在主站中设定相关参数，除链接模式（通常模式0或扩展模式E）和站号（一个主站时应设为0）以外，其余内容（传输速率、间隔时间、超时检测、控制时间等）均可取默认值。进行总线设置时，也不必改动原设置，可确认默认值。选择自动刷新。

建立从站并设定相关参数，选定除0以外的站号（1～125）和与CPU通信的输入/输出元件的编号（X、Y、M、D　等），其余可用默认值。在三菱变频器与该总线进行连接时，输入/输出各占6个字元件（12字节），它们中包括了参数号（PNU）、任务及应答ID（AK）、参数索引、参数值、变频器状态字。

在进行设备通信之前，必须对变频器的相关参数进行设置，为变频器中的从站适配卡FR-A5NP、FR-E5NP、A7NP设置网络节点地址，且必须与STEP7硬件组态中设置的地址完全一致。这个设置主要通过FR-A5NP、FR-E5NP、A7NP上的SW3和SW1两个旋钮开关来调节，开关SW2、SW1分别设为0和1，即为一号站。将部分相关参数设为网络工作方式：Pr79为0、2或6；Pr338＝Pr339＝0；Pr340为1或2。另外，其他主要参数的设置如表6-14所示，它们是在变频器的操作面板设置的。参数设置完成后，断电后再通电，使新的设置生效，以后每次开机后即进入网络运作模式。

表6-14 A740Profibus通信主要参数的设置

参数编号	通信参数	单　位	设置值	设置内容
Pr.79	运行模式选择	1	0、2、6 均可	网络运行模式
Pr.340	通信开始模式选择	1	1、2	
Pr.338	通信运行指令权	1	0	运行指令权通信
Pr.339	通信速度指令权	1	0	速度指令权通信
Pr.342	EEPROM 保存模式选择	1	0	写入 E^2PROM
Pr.349	通信复位	1	0	在任何模式
Pr.500	通信错误等待时间	0.1s	0	0s
Pr.550	网络模式操作权选择		9999	自动识别

（2）Profibus-DP通信协议

对于调速驱动装置，根据变速驱动行规，在周期型通道中传输的数据结构被定义为参数过程数据对象（Parameter Process Object，PPO）。这个通道经常被称为标准通道，其中包含有用的用户数据。可用的数据结构分为两个部分且能用报文分别传送，这两部分是过程通道（PZD）部分和参数通道（PKW）部分，具体的协议报文结构如图6-41示。

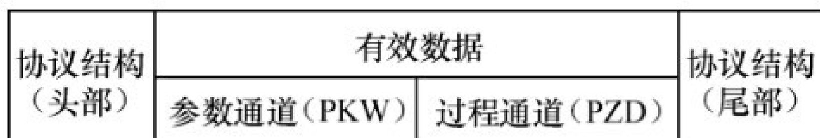


图6-41 Profibus-DP报文中有效的数据结构

变速驱动行规对PPO的结构、长度作了更具体的规定，常用的参数过程数据对象一共有5种类型，它们是按照可用数据有无参数通道及过程通道的数据字的多少来划分的。

① 可用数据有数据区而无参数区，有2个字或6个字的过程数据，如PPO3和PPO4。

② 可用数据有参数区和数据区，有2个字、6个字或10个字的过程数据，如PPO1、PPO2、PPO5。常用的PPO类型见表6-15。选用哪种类型的PPO，取决于在硬件组态中的设置。过程数据在传动系统中总是以最高优先级进行传送和处理，它主要传送传动装置的状态信息和控制信息。参数数据运行、存取传动系统的所有参数，它能够在不

影响过程数据传输性能的情况下，从上一级系统调用参数值、诊断值、故障信号等。

表6-15 常用的PPO类型

PPO		1	2	3	4	5
PKW（参数识别值）段	PKE/参数识别	✓	✓			✓
	IND/变址	✓	✓			✓
	PWE/参数值	✓	✓			✓
	PWE/参数值	✓	✓			✓
PZD（过程数据）段	PZD1STW1/控制字 ZSW1/状态字	✓	✓	✓	✓	✓
	PZD2HSW/主设定值 HIW/主实际值	✓	✓	✓	✓	✓
	PZD3		✓		✓	✓
	PZD4		✓		✓	✓
	PZD5		✓		✓	✓
	PZD6		✓		✓	✓
	PZD7					✓
	PZD8					✓
	PZD9					✓
	PZD10					✓

PKW区说明参数值（PKW）的数据接口处理方式，PKW接口并非物理意义上的接口，而是一种通信机理。这一机理确定了参数在两个通信伙伴之间（如PLC和变频器之间）的传输方式。PKW参数区一般包含4个字。前2个字（PKE和IND）的信息是关于主站请求任务（任务识别标记ID）和从站应答响应（应答识别标记ID）的报文。PKW的后2个字（PWE1和PWE2）用来读写具体的参数值。

参数通道的第一个字是参数标识符PKE，第0位到第10位（PNU）包括所请求的参数号，它决定所要执行的参数读写任务访问的是数组参数中的哪一个元素。第11位（SPM）是参数变更报告的触发位。第12位到第15位（AK）包括任务标识ID和应答标识ID。

参数通道的第二个字变址IND的第12位到第15位是参数号PNU的扩展页号，它和参数标识符基本参数号PNU共同产生完整的传动装置参数号。变址IND的第0位到第7位为带数组的参数寻址提供数组下标，决定访问数组参数的哪一个元素。

第三个字和第四个字为参数值（PWE）。参数值总是以双字来传送，在PPO报文中一次只能传送一个参数值，由PWE1（高位字）和

PWE2（低位字）共同组成一个32位参数值。当用PWE2传送一个16位参数值时，必须在DP主站中设置高位字PWE1为0。

利用参数通道修改驱动装置参数必须遵守以下规则。

① 一个任务或一个应答仅能涉及一个参数。

② 主站必须重复地发送任务报文直到从站得到相应的应答报文，主站通过对应答识别ID、参数号、变址下标和参数值的处理识别任务的应答。

③ 对于完成的任务必须送出一个报文，对于应答也一样。

④ 在应答报文中重复的实际值总是当前的最新值。

⑤ 如果在周期工作中不需要参数通道的信息而只需要过程通道的信息，则任务ID被发布为“无任务（用0表示）”。

过程通道区是为监测和控制调速驱动装置而设计的，在DP主站和从站中收到的PZD报文总是以最高的优先级处理，即处理过程通道的优先级高于处理参数通道 PKW 的优先级，而且过程通道总是传送调速驱动装置当前最新的有效数据。通常在 DP 主站给传动装置的任务报文中，第一个PZD字为控制字，第二个字为主设定值；在传动装置给DP主站的响应报文中，第一个PZD字为状态字，第二个字为主实际值。

FR-A740采用PPO3的数据传输结构，即使用过程通道控制和监测变频器的工作，而没有使用参数通道修改变频器的内部参数。PPO3的数据结构见表6-16。

表6-16 PPO3的数据结构

通道 / 传输	PZD1	PZD2
PLC-FR-A740	STW	HSW
FR-A740-PLC	ZSW	HIW

主站给FR-A740的PZD任务报文的第一个字PZD1是变频器的控制字（STW），其中每一位的含义见表6-17。

表6-17 FR-A740变频器控制字的定义

位	名　称	说　明	位	名　称	说　明
0～2	未使用		11	正转启动	0，否；1，是
3	控制使能	0，输出停止；1，停止取消	12	反转启动	0，否；1，是
4～6	未使用		13	第 2 功能选择	0，否；1，是
7	故障复位	0，无动作；1，故障复位	14	输出停止	0，否；1，是
8～9	未使用		15	RAM/E^2PROM	0，写入 RAM；1，写入 E^2PROM
10	PZD 功能	0，不执行；1，PZD 执行			

对于变频器收到的控制字，其中第10位必须设置为1。如果第10位是0，变频器将以从前的控制方式继续工作。主站给变频器的PZD任务报文的第二个字PZD2是变频器的主设定值（HSW），即主频率设定值，以十六进制数发送，最小单位是0.01Hz。

变频器给主站的PZD应答报文的第一个PZD字是变频器的状态字（ZSW），其中每一位的含义见表 6-18。PZD 应答报文的第二个字是主要的运行参数实际值（HIW）。通常，把它定义为变频器的实际输出频率。

表6-18 FR-A740变频器状态字的定义

位	名　称	说　明	位	名　称	说　明
0～2	未使用	默认 1	10	频率检测信号	0，无；1，接通
3	变频器故障	0，正常；1，变频器故障	11	变频器正在运行	0，无；1，正在运行
4～5	未使用		12	电动机正向运行	0，无；1，电动机正转
6	接通命令	0 表示接通	13	电动机反向运行	0，无；1，电动机反转
7	报警	0，命令执行正常；1，命令执行不正常	14	变频器运行模式	0，无；1，网络模式
8	未使用	默认为 0	15	变频器是否忙	0，变频器处于准备状态；1，变频器忙
9	控制请求	0，无请求；1，有请求			

（3）PLC程序的编写

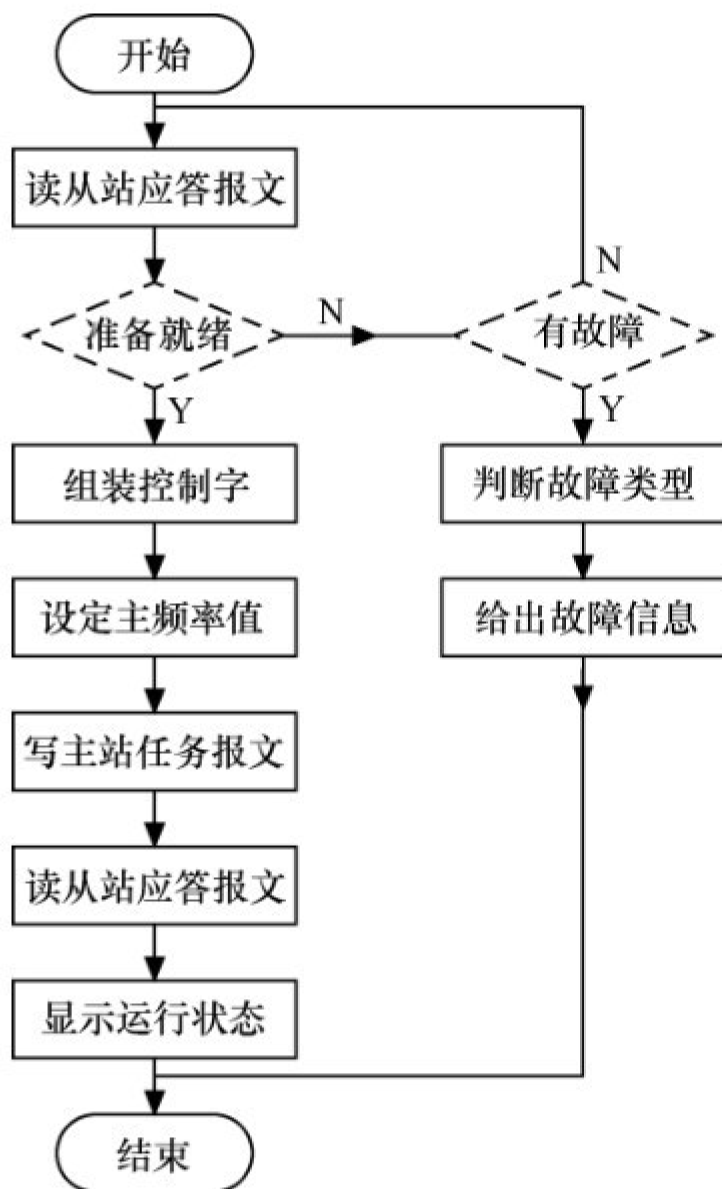


图6-42 变频器通信程序流程图

若以上工作准备完备并准确无误，即可建立通信。由于Profibus-DP是基于RS-485接口的通信，并且主、从站间进行着轮回（Polling）通信，每次循环只能执行一项工作，或发出某一指令或接

收某一信息，即各类运行指令和状态信息均占用相同的缓冲存储器或字元件，故而需用程序保证其分时工作。在编写变频器通信程序时，首先应该读取变频器的状态字，判断变频器是否准备就绪，如果没有就绪，则判断是否存在故障，若有故障，要判断故障的类型，给出相关的故障提示信息。然后根据操作指令组装控制字，设定主频率值，同时实时读取从站的应答报文，完成运行状态的在线显示。图6-42为变频器通信程序流程图。

PLC作为总线主站读PZD应答报文是通过调用S7系统功能SFC14（DPRD_DAT）来实现的，SFC14用于从一个标准的Profibus-DP从站读取一串连续的数值，读取数值的长度取决于CPU的类型。它有3个形式参数：DP从站的读数据区的首地址、存放数据变量的首地址、存放错误代码的地址。若能正确读取数据，错误代码返回0000（HEX）；若读取出错，错误代码为非零值。同理，写PZD报文是通过调用系统功能SFC 15（DPWR_DAT）来实现的，它也有3个入口参数：DP从站写数据区的首地址、存放待写入数据变量的首地址、存放错误代码的地址。若正确写入，错误代码返回 0000（HEX）；若写入出错，错误代码为非零值。变频器通信的PLC程序如图6-43所示。

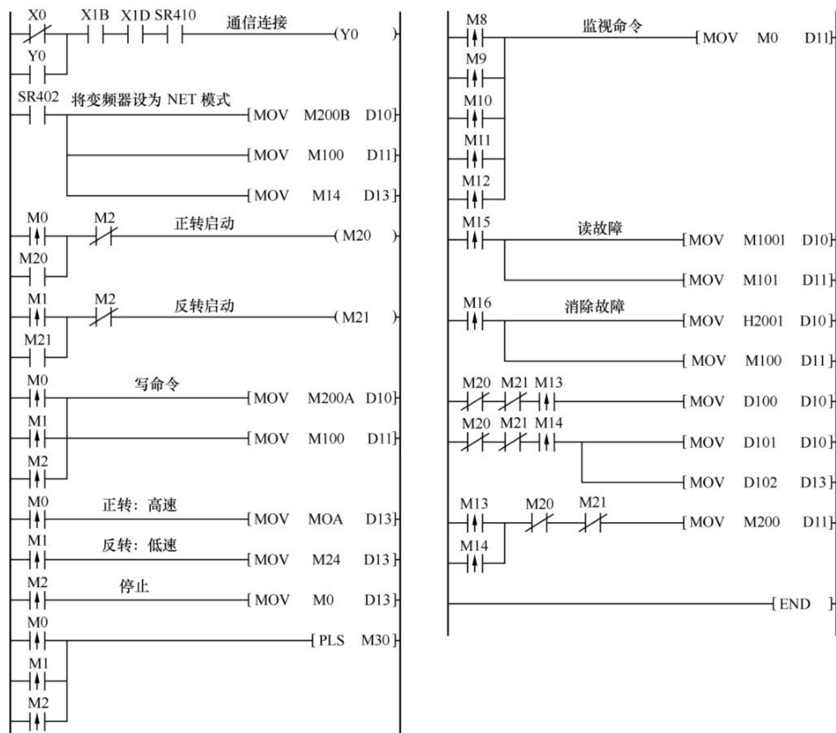


图6-43 变频器通信的PLC程序

6.2.10 基于Profibus-DP现场总线控制ACS800系列变频器

1．硬件配置

Profibus-DP现场总线控制器（如PLC或DCS系统）的设置方法如下。

① 安装ABB变频器GSD文件ABB_0812.GSD。

② 在系统Profibus-DP硬件配置中添加从站ABBDrivesRPBA-01，站号为2（或其他站号），插入PPOTypeModule为4。PPO消息类型如图6-44所示。

③ 在2号从站的参数设置中，将OperationMode改为VendorSpecific（即ABB传动协议）。

④ 其他为默认配置。

⑤ 将配置下载到主站中。

⑥ 主站对从站2的输出区（Output）的数据结构见表6-19。

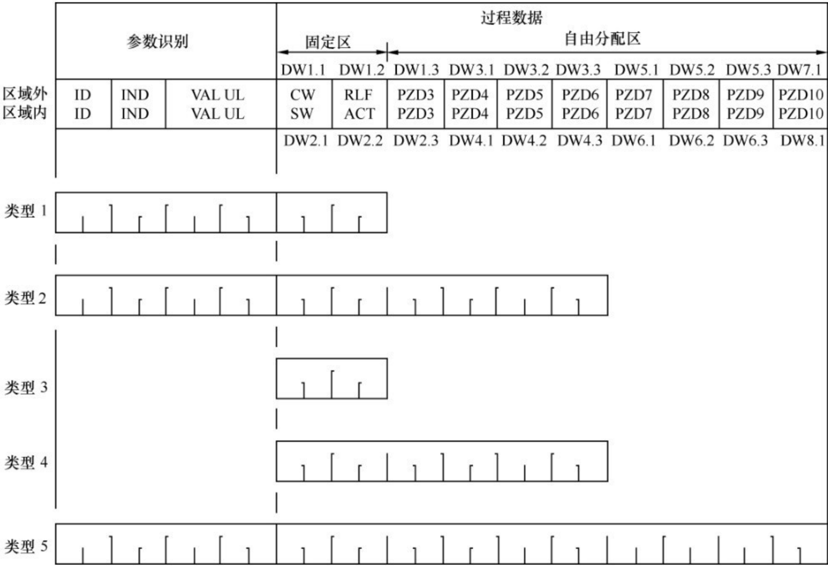


图6-44 PPO消息类型

表6-19 主站对从站2的输出区（Output）的数据结构

Output	含　义
第一个字	用于 ABB 传动通信协议的控制字 CW
第二个字	变频器的给定值 REF1
第三个字	变频器的给定值 REF2
第四个字	变频器的给定值 REF3（由 ACS800 变频器参数 90.01 决定）
第五个字	变频器的给定值 REF4（由 ACS800 变频器参数 90.02 决定）
第六个字	变频器的给定值 REF5（由 ACS800 变频器参数 90.03 决定）

⑦ 主站对从站2的输入区（Input）的数据结构见表6-20。

表6-20 主站对从站2的输入区（Input）的数据结构

Input	含　义
第一个字	用于 ABB 传动通信协议的状态字 SW
第二个字	变频器的实际值 ACT1（由 ACS800 变频器参数 92.02 决定）
第三个字	变频器的实际值 ACT2（由 ACS800 变频器参数 92.03 决定）
第四个字	变频器的实际值 ACT3（由 ACS800 变频器参数 92.04 决定）
第五个字	变频器的实际值 ACT4（由 ACS800 变频器参数 92.05 决定）
第六个字	变频器的实际值 ACT5（由 ACS800 变频器参数 92.06 决定）

2．ACS800变频器参数的设置步骤

ACS800变频器参数的设置步骤如下。

① 将Profibus-DP适配器模块RPBA-01安装到变频器上。

② 按照RPBA-01适配器模块的用户手册调整硬件（如站号、终端电阻等）。

③ 将参数98.02（Comm.ModuleLink）改为Fieldbus，确定参数98.07（COMMPROFILE）为ABBDrives。

④ 将参数51.04（PPOtype）改为PPO4。

⑤ 将参数51.05（PZD3OUT）改为3。

⑥ 将参数51.06（PZD3IN）改为6。

⑦ 将参数51.07（PZD4OUT）改为7。

⑧ 将参数51.08（PZD4IN）改为10。

⑨ 将参数51.09（PZD5OUT）改为8。

⑩ 将参数51.10（PZD5IN）改为11。

⑪ 将参数51.11（PZD6OUT）改为9。

⑫ 将参数51.12（PZD6IN）改为12。

⑬ 对于变频器中的其他参数组，如10组、11组、16组，90组、92组等，根据用户的不同要求设置。

3．用ABB传动通信协议的控制字CW控制电动机启停的方法

① 初始化变频器控制字CW，即向ABB传动通信协议的控制字CW中写入1142（十六进制数为476）。

② 延时100ms后，进入步骤③ 。

③ 使电动机停转，即主机向ABB传动通信协议的控制字CW中写入1143（十六进制数为477）。

④ 启动电机，即主机向ABB传动通信协议的控制字CW中写入1151（十六进制数为47F）。

4．现场总线给定值的比例换算

在使用ABBDrives通信协议时，现场总线给定值REF1和REF2按表6-21中的比例进行换算。

表6-21 现场总线给定值REF1和REF2的换算比例

给定值序号	所使用的应用宏程序（参数 99.02）	范　围	给定值类型	比 例 换 算	备　注
REF1	任意	−32768～32767	Speed 或 Frequency 不带 FASTCOMM	−20000＝−[参数 11.05] −1=−[参数 11.04] 0=[参数 11.04] 20000=[参数 11.05]	最后设定值受参数 20.01/20.02[速度]或 20.07/20.08[频率]限制
			Speed 或 Frequency 带 FASTCOMM	−20000=−[参数 11.05] 0=0 20000＝[参数 11.05]	最后设定值受参数 20.01/20.02[速度]或 20.07/20.08[频率]限制

续表

给定值序号	所使用的应用宏程序（参数 99.02）	范　围	给定值类型	比 例 换 算	备　注
REF2	FACTORY HAND/AUTO，或 SEQCTRL	−32768～32767	Speed 或 Frequency 不带 FASTCOMM	−20000=−[参数 11.08] −1=−[参数 11.047] 0＝[参数 11.07] 20000＝[参数 11.08]	最后设定值受参数 20.01/20.02[速度]或 20.07/20.08[频率]限制
			Speed 或 Frequency 带 FASTCOMM	−20000＝−[参数 11.08] 0＝0 20000＝[参数 11.08]	最后设定值受参数 20.01/20.02[速度]或 20.07/20.08[频率]限制
	TCTRL 或 M/F（可选择）	−32768～32767	Torque 不带 FASTCOMM	−10000＝−[参数 11.08] −1＝−[参数 11.07] 0＝[参数 11.07] 10000＝[参数 11.08]	最后设定值受参数 20.04 限制
			Torque 带 FASTCOMM	−10000＝−[参数 11.08] 0＝0 10000＝[参数 11.08]	最后设定值受参数 20.04 限制
	PIDCTRL	−32768～32767	PIDReference 不带 FASTCOMM	−10000＝−[参数 11.08] −1＝−[参数 11.07] 0＝[参数 11.07] 10000＝[参数 11.08]	
			PIDReference 带 FASTCOMM	−10000＝−[参数 11.08] 0＝0 10000＝[参数 11.08]	

6.2.11 基于Profibus-DP现场总线的S7-PLC与西门子变频器的通信

1．硬件连接

CBP为Master系列变频器的Profibus-DP接口板。先将电子箱中的主电子板取出，将LBA总线装入，再将主电子板插回。然后把CBP装在ADB适配板上，插入电子箱并固定。PLC的安装方式如图6-45所示。



图6-45 PLC的安装方式

Profibus-DP的硬件接口为D型9针插头。连接时可采用西门子公司提供的总线连接器，按图6-46所示方法接线，并在两端打开终端电阻开关。

2．参数设置

（1）设置变频器参数

在硬件连接完毕后，需要对变频器的以下参数进行设置，以便CBP能够正常工作。

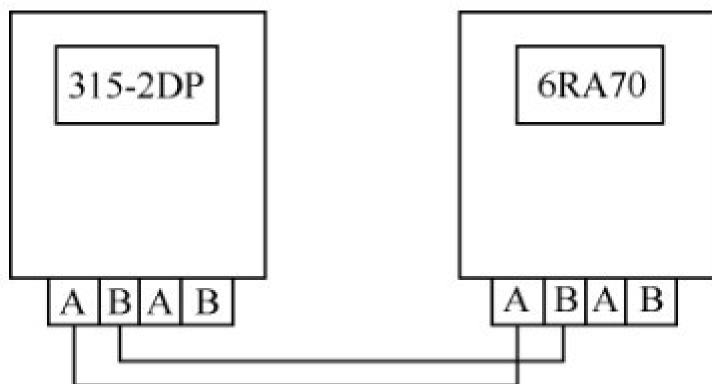


图6-46 接线图

① 设置PPO类型。

② 设置报文监控时间。

③ 设置CBP的Profibus-DP站点地址。

④ 设置CBP的参数使能状态。

（2）设置PLC参数

对CPU的DP接口进行参数设置，使其能够参数化CBP。

（3）连接诊断

设置完成后，给PLC及变频器送电，此时若CBP上的3个发光管同时闪亮，表示通信正常。

3．程序编制

DVA-S7是西门子公司为变频器与S7-PLC通信所提供的S7软件包，它运行于Profibus-DP之上，符合欧洲传动产品生产商有关变速传动在 DP 上应用的协定。它内含参数发送及接收的功能块，以方便编程者调用。

采用DVA-S7编制程序，其主要组成部分为：DP-SEND（参数发送功能块）、DP-RESV （参数接收功能块）、过程参数数据块、通信参数数据块。通信功能块需要两个数据块，以便进行过程的参数化和提供通信参数的存取空间。它们之间的关系如图6-47所示。

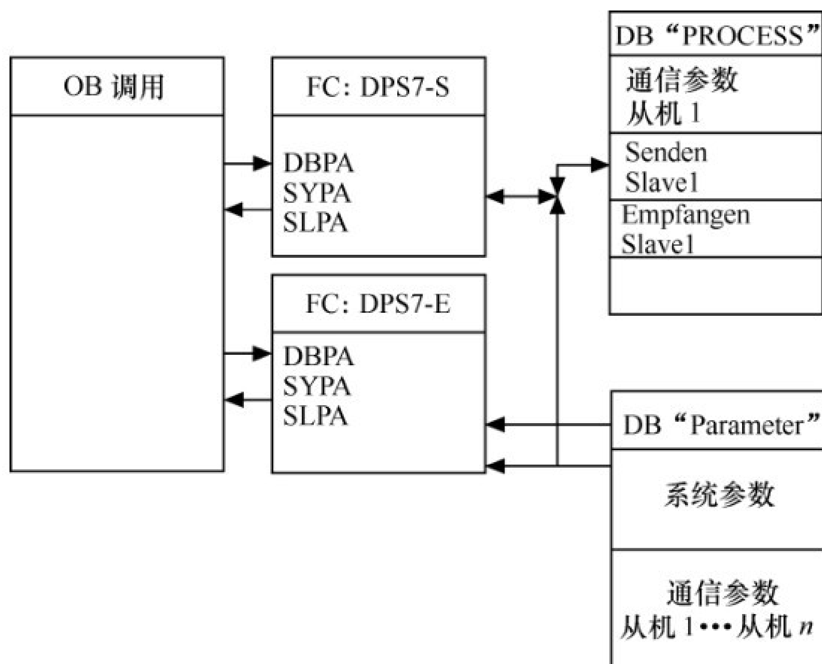


图6-47 过程的参数化和提供通信参数的关系图

DPS7-S用于向变频器发送通信数据。它根据PPO的类型以及通信

控制字的内容自动形成有效数据，并将其送往 DP 接口。如果此功能块发现参数设置错误，则将错误代码写入过程数据块的两个字节中。此功能块有以下3个参数。

① DBPA：通信参数数据块代码。

② SYPA：系统参数字在通信参数数据块中的起始地址。

③ SLPA：有效数据在通信参数数据块中的起始地址。

DP-RESV用于接收变频器发送的通信数据。它根据PPO的类型以及通信控制字的内容读入通信设备的缓冲区数据，经过变换后将其写入数据块。如果此功能块发现参数设置错误，则将错误代码写入过程数据块的一个字节中。此功能块有以下3个参数。

① DBPA：通信参数数据块代码。

② SYPA：系统参数字在通信参数数据块中的起始地址。

③ SLPA：有效数据在通信参数数据块中的起始地址。

对于上述两个数据块，在程序中至少每个变频器都要调用一次。

4．数据块

（1）通信参数数据块（DBPA）

此数据块与参与通信的变频器数目有关。每个变频器需要5个字，另外数据块本身有4个保留字。

（2）过程参数数据块（DBND）

此数据块为每一个参与通信的变频器提供如下通信接口。

① 同每个变频器相关的通信数据。

② 当前PKW任务的缓冲区。

③ PPO有效数据的发送缓冲区。

④ PPO有效数据的接收缓冲区。

6.2.12 西门子6SE70系列变频器与S7-300/400 PLC的通信

1．控制系统的结构

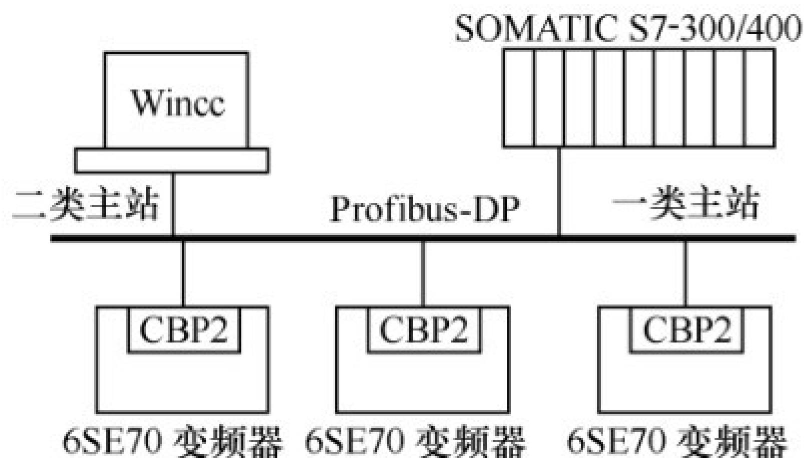


图6-48 Profibus-DP网的典型配置

Profibus-DP网的典型配置如图6-48所示。PLC（SIMATIC S7-300或S7-400系列）作为一级DP主站，它负责在预定的信息周期内循环与从站交换信息，发送控制信息，读取从站的状态等。组态软件Wincc作为二级DP主站，用于系统操作与监视等。6SE70变频器加上CBP2通信板（Profibus-DP通信模块）后作为从站。

2．数据通信

CBP2 通信板是 6SE70 变频器的通信处理器，它负责控制 6SE70 变频器与 SIMATIC S7-300之间的通信。6SE70变频器接入Profibus-DP网中接受控制，必须与CBP2通信板配合使用。6SE70 变频器上有固定的插槽，用来放置 CBP2 通信板。CBP2 通信板将从Profibus-DP网中接收到的过程数据存入双向RAM中，双向RAM中的每一个字都被编址，可通过被编址参数排序、写入控制字、设置值、读出实际值、诊断信息等。

采用SIMATIC S7-300系列的CPU315-2DP作为DP主站，CPU315-2DP系统本身具有Profibus-DP接口，无须另外的通信接口单元。在编程软件STEP7中完成硬件网络的组态，为6SE70 变频器分配网络地址。该地址必须与变频器内部参数设定的地址相同，在组织块OB中选用 sfc14"DPrd_dat"sfc15"DPwr_dat"系统功能块向变频器的

CBP2 模块接收/发送过程数据，如图6-49所示。PLC向变频器发送的控制字各位的定义见表6-22。

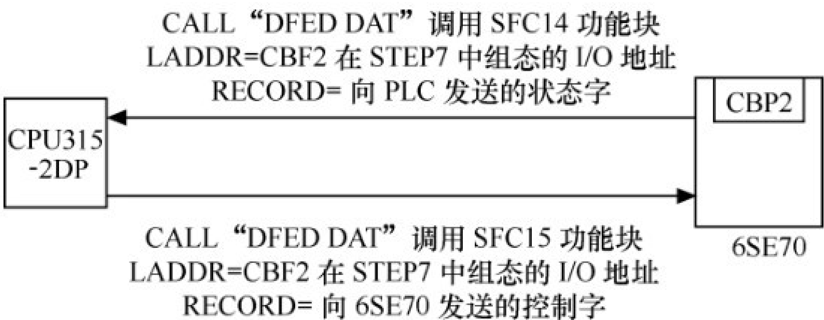


图6-49 PLC与6SE70变频器之间的通信

表6-22 PLC向变频器发送的控制字各位的定义

位数	描述	运行条件	位数	描述	运行条件
Bit0	开/关 1 命令	低信号和 P100 为 3 或 4	Bit8	点动 1 开机命令	低信号
Bit1	关机 OFF2 命令	低信号	Bit9	点动 2 开机命令	低信号
Bit2	关机 OFF3 命令	低信号	Bit10	来自 PLC 的开机命令	高信号，只在接收命令后处理数据
Bit3	逆变器使能命令	低信号	Bit11	顺时针旋转命令	高信号
Bit4	斜波函数发生器封锁命令	低信号，运行（014）状态	Bit12	逆时针旋转命令	高信号
Bit5	斜波函数发生器保持命令	低信号，运行（014）状态	Bit13	电动电位计增加命令	高信号
Bit6	设定值使能命令	高信号及建立励磁时间（P602）终了	Bit14	电动电位计减少命令	高信号
Bit7	确认命令	在故障状态（007）从 L 到 H 的上升沿	Bit15	外部故障 1 命令	低信号

工业组态软件Wincc提供各种PLC的驱动程序，本例要建一个Profibus-DP的二级主站，所以选择支持 S7 协议的通信驱动程序SIMATICS7PROTOCOLSUITE，在其中的“Profibus-DP”下连接一台S7-300 PLC，设置参数必须与PLC中的设置相同。通过以上步骤，即完成了对整个变频器控制系统Profibus-DP网的组态与通信。

3．硬件组态

在STEP7软件中创建一个项目，在该项目下建一个Profibus-DP网络，6SE70系列变频器在Proibus-DP-＞SIMOVERT文件夹里进行组态，并设定好通信的地址范围。

4．通信**DB**块

一般读写数据都做在一个DB块中，且最好将其划分为大小与硬件组态设定的I/O地址范围相同的区域，便于建立对应关系和管理。读变频器的数据的12个字节放在DB0～DB11中，写给变频器的12个字节数据放在DB12～DB23中。接下来还可以存放诸如通信的错误代码和与变频器有关的其他计算数据。

5．通信程序

通信程序可以直接调用 STEP7 编程软件的系统功能SFC14（DPRD_DAT）和 SFC15 （DPWR_DAT）来实现。下面举一个例子。

CALLSFC14//变频器－＞PLC

LADDR:＝W#16#230//通信地址：为硬件组态的起始地址，即IAddess中的560

RET_VAL:＝DB15.DBW24//错误代码：查帮助可得具体含义

RECORD:＝P#DB15.DBX0.0BYTE12//传送起始地址及长度

CALLSFC15//PLC－＞变频器

LADDR:＝W#16#230//通信地址：为硬件组态的起始地址，即QAddess中的560

RECORD:＝P#DB15.DBX12.0BYTE12//传送起始地址及长度

RET_VAL:＝DB15.DBW26//错误代码:查帮助可得具体含义

6．变频器参数的设置

变频器的简单参数设置见表6-23。

表6-23 变频器的简单参数设置

参数号	参数值	注 译	参数号	参数值	注 译
P60	3	快速参数设置	P383		电动机热时间常数
P71	380V	进线电压	P368	6	设定控制命令来源：Profibus
P95	10	电动机类型：同步或异步电动机（国际标准）	P370	1	启动快速参数设置
P100	1	控制方式：*U/F* 控制	P60	0	返回用户菜单
P101	380V	铭牌上电动机额定电压	P60	4	电子板设置菜单
P102		铭牌上电动机额定电流	P711.1		起始通信诊断
P104		铭牌上电动机功率因数	P712.1	4	通信方式
P107	50Hz	铭牌上电动机额定频率	P918.1		Profibus 地址
P108		铭牌上电动机额定转速	P60	1	返回参数菜单
P109		铭牌上电动机极对数	P734.1	32	装置状态字
P382		电动机冷却方式	P734.2	20	电动机运行频率

写变频器的数据是与变频器的 k3001～k3016 建立对应关系，读变频器的数据则是与变频器的参数P734建立对应关系，即DB15.DBW12～DB15.DBW22对应P734的W01～W06， DB15.DBW0～DB15.DBW11对应k3001～k3012。PLC读取变频器的数据可以通过设置参数P734的值来实现，PLC写给变频器的数据存放在变频器数据k3001～k3012中，在变频器的参数设置里可以进行调用，从而建立彼此的对应关系。

这样，变频器与PLC的连接已经基本建立，就可以编写程序，通过PLC来控制变频器的启停、速度给定等各项功能，以满足工艺给定要求。同时，也可以读取变频器数据并通过上位机进行显示，达到在线监视和诊断的目的。

6.2.13 西门子PLC与ABB变频器之间的现场总线通信

1．系统配置及通信协议

（1）系统配置

图 6-50 为利用西门子公司和 ABB 公司的相关产品来实现的全数字交流调速系统在Profibus-DP网中的通信网络配置图，其中PLC为西门子公司的SIMATICS7-315-2DP，变频器为ACS600系列，NPBA-12为与变频器配套的通信适配器。编程软件为STEP7V5.2，用于对S7-300 PLC进行编程和对Profibus-DP网进行组态和通信配置。上位

机采用Wincc5.1进行画面编程和操作。

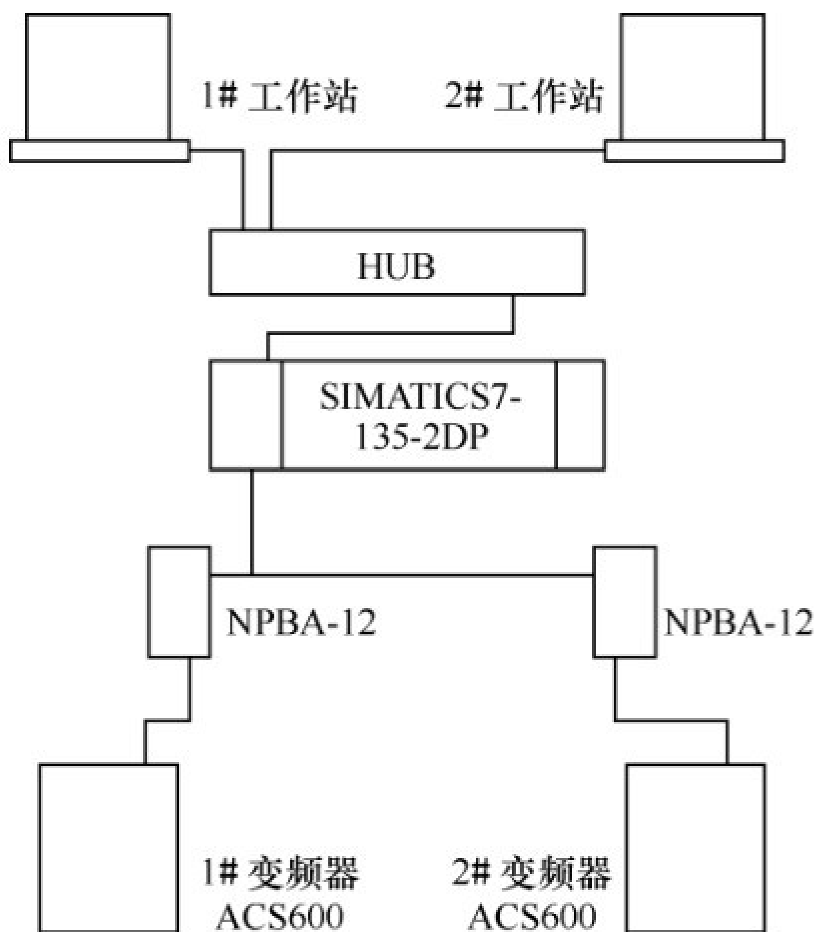


图6-50 Profibus-DP网络配置图

（2）通信协议

在本系统中，S7-300 PLC作为主站，变频器作为从站时，主站向变频器传送运行指令，同时接收变频器反馈的运行状态及故障报警状态信号。变频器与NPBA-12通信适配器模块相连，接入Profibus-DP网中作为从站，接受从主站SIMATICS7-315-2DP的控制。NPBA-12通信适配器模块将从Profibus-DP网中接收到的过程数据存入双向RAM

中，在变频器端的双向RAM中可通过被编址参数排序，向变频器写入控制字、设置值，或读出实际值、诊断信息等参量。变频器现场总线控制系统若从软件角度看，其核心内容是现场总线的通信协议。Profibus-DP通信协议的数据报文结构分为协议头、网络数据和协议层。网络数据即PPO，包括参数值PKW及过程数据PZD。参数值PKW是变频器运行时要定义的一些功能码；过程数据PZD是变频器运行过程中要输入/输出的一些数据值，如频率给定值、速度反馈值、电流反馈值等。

Profibus-DP共有两种类型的网络PPO：一类是无PKW而有2个字或6个字的PZD，另一类是有PKW且还有2个字、6个字或10个字的PZD。将网络数据这样分类定义的目的是为了完成不同的任务，即PKW的传输与PZD的传输互不影响，各自独立工作，从而使变频器能够按照上一级自动化系统的指令运行。

2．STEP7项目系统的组态及通信编程

① 使用STEP7V5.2组态软件，进入HardwareConfigure，完成S7-300 PLC硬件组态。

② 选定S7-315-2DP为主站系统，将NPBA-12的GSD（设备数据库）文件导入STEP7的编程环境中，软件组态NPBA-12到以S7-315-2DP为主站的DP网上，并选定使用的PPO类型。本设计使用PPO4，设定站点网络地址。在变频传动装置Profibus-DP的结构中，ABB变频器使用Profibus-DP通信模块（NPBA-12）进行数据传输，主要是周期性的，从从站读取输入信息并把输出信息反送给从站。因此，需要在PLC 主程序中调用两个系统功能块 SFC14和SFC15来读写这些数据，实现对变频器的通信控制。

③ 在PLC主程序中建立一个数据块，用于与变频器的数据通信；在PLC主程序中建立一变量表，用于观测实时通信效果。

3．变频器的运行设置

变频器与PLC应用Profibus-DP现场总线连成网络后，除在PLC自动化系统中进行编程外，在每个变频器上也要进行适当的参数设置。连接好通信电缆后，启动变频器，对变频器的通信参数进行设置。

（1）基本设置

① 51.01参数用于显示由传动装置检测到的模块型号，用户不可调整其参数值。如果本参数没有定义，则不能在模块与传动装置之间建立通信。

② 51.02参数用于选择通信协议，为“0”时表示选择Profibus-DP通信协议。

③ 51.03参数用于为Profibus-DP连接选择PPO类型，“3”为PPO4，变频器上的PPO类型应与PLC上组态的PPO类型一致。

④ 51.04 参数用于定义设备地址号，即变频器的站点地址。在Profibus-DP 网络上的每一台设备都必须有一个单独的地址。

（2）过程参数的连接

过程参数互联完成NPBA-12双端口RAM连接器与变频器相应参数的定义和连接，包括主站（PLC）到变频器的连接和变频器到主站（PLC）的连接两部分。在变频器上设定下列连接参数。

① 从PLC发送到传动装置变频器的PZD值。

lPZD1 —— 控制字，如变频器的启动使能、停止、急停等控制命令。

lPZD2 —— 变频器的频率设定值。

② 从传动装置变频器发送到PLC的PZD值。

lPZD1 —— 状态字，如报警、故障等变频器运行状态。

lPZD2 —— 变频器的速度实际值、电流实际值等。

6.2.14 由TD变频器基于TDS-PA01适配器构成的调速系统

TDS-PA01是针对TD系列变频器开发的Profibus-DP适配器，变频器与TDS-PA01之间通过串行RS-485总线进行连接，最高通信速率为125kbit/s（TD3000），完全可以满足现场控制的要求。TDS-PA01不仅实现了Profibus-DP的功能，还完成了传动行规的解释以及与变频器之间的协议转换等功能。TD系列变频器与Profibus适配器的连接方式如图6-51所示。在多电动机交流控制系统中，存在着各电动机控制

点、各交流变频器分布线长而且分散的特点。采用TDS-PA01适配器联成总线网络，以数字方式进行控制数据的串行传输，控制系统将具有更强的抗干扰能力，提供给变频器的参考值亦比较精确。

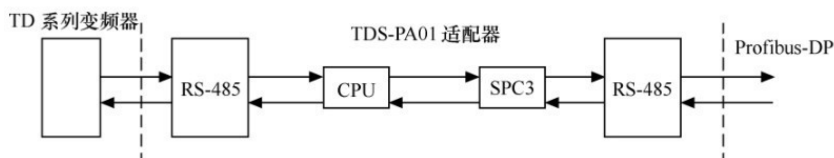


图6-51 TD系列变频器与Profibus适配器的连接方式

1．TDS-PA01的应用范围

① 在新的现场总线控制系统中可以采用带现场总线接口的安圣变频器。

② 可以在原有的现场总线系统中用艾默生变频器进行设备升级和替换。

③ 借助现场总线适配器能方便地将传统控制系统升级为现场总线控制系统。

④ 有了TDS-PA01现场总线适配器，艾默生变频器可以方便地接入所有由PLC构成的Profibus-DP现场总线控制系统之中。

2．系统配置

采用艾默生TD3000系列矢量控制型变频器、艾默生现场总线适配器和S7-300 PLC组成的控制系统如图 6-52 所示。多电动机交流控制系统的硬件结构相对简单，以可编程控制器为中心，通过Profibus总线依次连接了相关联的TDS-PA01现场总线适配器。采用艾默生TD3000系列变频器和西门子S7-315-2DP PLC，通过Profibus-DP现场总线组成整个控制系统。作为主设备，PLC负责读取悬挂在总线上的所有分布式I/O模块的变频器状态字（包括数字量和模拟量），同时进行变频器控制字（包括数字量和模拟量）的传送。PLC通过Profibus-DP总线实时采集负荷数据，完成对各传动点速度控制和转矩控制的在线叠加，以实现各传动点的自动负荷均衡。每个传动点都设有微调按钮，必要时进行手动调整（通过程序限制手动微调的调节范

围），同时通过通信方式读取变频器的输入状态，即将变频器的控制端子作为 PLC的 DI端子，从而减少了PLC 的数字量输入模块的数量。TD3000 系列变频器的调速范围是1:1000，完全能满足控制精度的要求，并且在转速低于 10%时具有转矩提升及电动机预励磁功能，使启动运行平滑，无冲击和抖动，从而能更好地承受一定的负荷变化。适配器选择艾默生专为其变频器应用Profibus-DP现场总线而生产的TDS-PA01，它属于Profibus-DP智能从站，能响应主机的查询，并执行主机下发的控制命令。

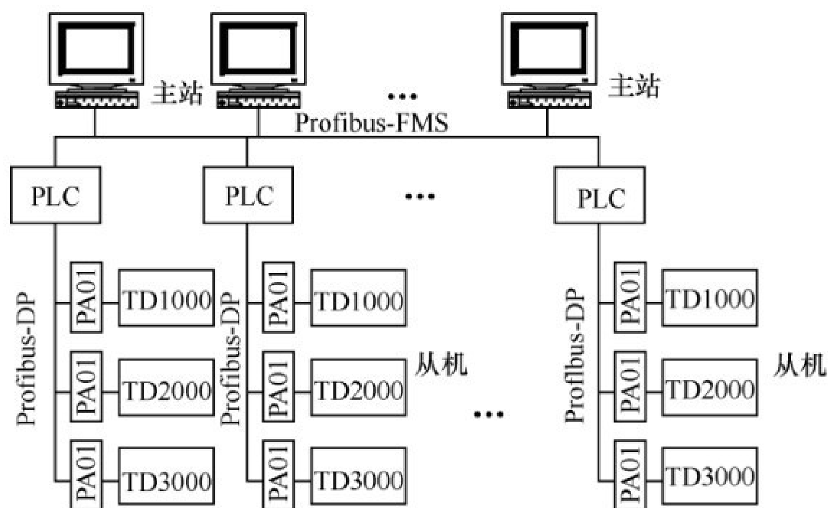


图6-52 由TD3000系列变频器、现场总线适配器和S7-300 PLC组成的控制系统

采用TD3000系列变频器和西门子S7-315-2DP PLC构成的控制系统如图6-53所示。系统的硬件接线如图6-54所示。11台变频器的参数基本相同，但略有差别。变频器的功能参数设置如下：

F0.021（闭环矢量）。

F0.036（通信给定）。

F0.052（通信控制）。

F0.1090（加速时间）。

F0.1190（减速时间）。

F1组电动机参数根据电动机分别设定：

F2.002（跟踪启动）其他传动点：0（从启动频率启动）。

F2.091（自由停车）。

F3.00～F3.03ASR速度调节器PI参数，在出厂参数的基础上，根据实际情况略加调整。

F3.07120%。

F3.080（都未加制动单元）。

F5.01～F5.080输出（通过总线读取每台变频器的端子状态，每个端子的具体功能可定义）。

F5.111（PA—PC输出变频器运行中的信号）。

F6.080（AO1定义为频率输出）。

F6.093：AO2定义为电流输出，4：AO2定义为转矩输出。

F6.10～F6.13 根据不同变频器对 F6.09 的选择适当调整，使显示仪表的指示与对应参量的实际值相等。

F9.003。

F9.010。

F9.023～13（顺序分配）。

F9.034（PPO4）。

F9.05PZD3连接值＝10（电动机转矩有分数）。

F9.08PZD6连接值＝12（开关量输入状态）。

FA.028（复位有效）。

FB.00600（脉冲编码器每转脉冲数）。

FB.010（PG方向）。

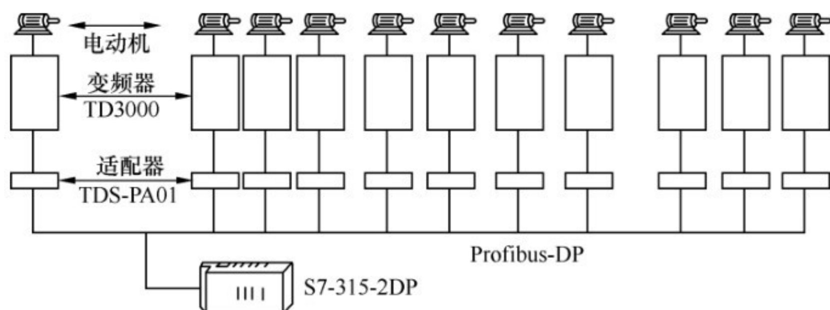


图6-53 TD3000和S7-315-2DP PLC构成的控制系统框图

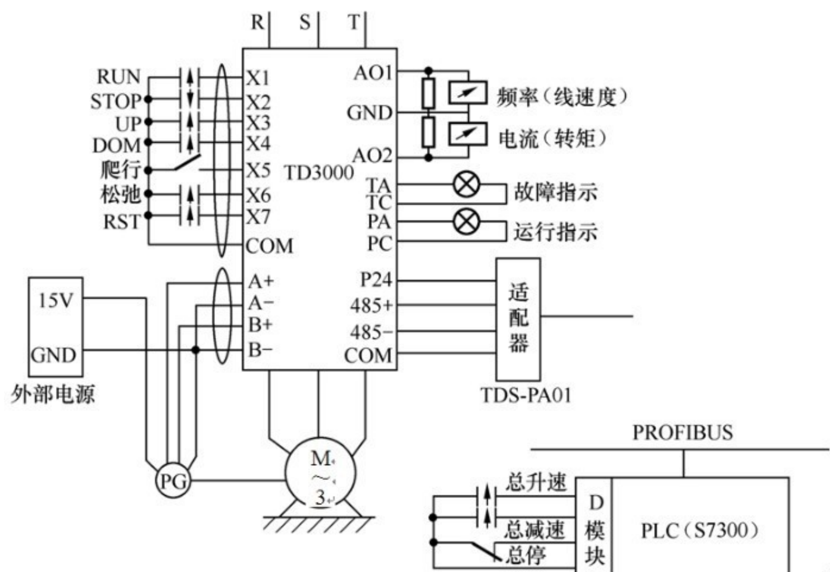


图6-54 系统的硬件接线图

第7章 变频调速系统工程应用实例

- ABB变频器在造纸机传动系统中的应用
- 四方E380系列变频器在伸线机上的应用
- ABB变频技术在桥机上的应用
- 时代变频器在恒压供水行业中的应用
- LG变频器在空压机供气系统中的应用
- 艾默生变频器在石油抽油机中的应用
- ACC600变频器在水电站门式起重机中的应用
- 西门子SIMOVERTMV中压变频器在鼓风机上的应用
- 施耐德Altivar38变频器在鼓风机上的应用
- FR变频器在中央空调冷冻泵中的应用
- THYFREC-VT210S变频器在空调通风系统中的应用
- ECO变频器在疏水泵上的应用
- MM440变频器在给水泵上的应用
- MASTERDRIVE6SE变频器在起重机大、小车行走驱动系统中的应用
- ER440变频器在联动生产线上的应用

7.1 ABB变频器在造纸机传动系统中的应用

1．造纸机对电气传动系统的要求

造纸是一个连续生产的过程，因此生产线的连续和有序控制成为了制约成品纸质量和产量的瓶颈。变频调速于20世纪90年代中期开始

在造纸领域中应用，并得到了快速推广。

交流变频调速技术以其卓越的调速性能、显著的节电效果以及在国民经济领域中的广泛适用性，而被公认为是一种最有前途的交流调速方式。直流调速系统在造纸机的发展史上占有重要的地位，但由于直流电动机存在维护难、抗环境干扰能力差等缺点，到了 20世纪90年代已严重制约了造纸整机的性能价格比。而变频调速技术能最大程度地发挥交流电动机本身固有的优点（结构简单、坚固耐用、经济可靠、动态响应特性好等），再加上变频调速理论已形成一门相对独立的学科，变频调速技术全面应用于造纸生产线的时代已经到来了。

造纸机是由一系列配套设备组成的，分湿部和干部两大部分。湿部包括上浆流送系统、网部和压榨等部分，干部包括烘干、压光和卷取等部分。其生产流程一般是：

浆料通过上浆流送系统传送到造纸生产流水线的前端流浆箱，然后浆流由此依次通过网部、压榨设备、前烘缸、后压榨设备、后烘缸、压光机和卷纸机等在内的部分设备，成为原纸，原纸又可以另外进入机外涂布设备和复卷机产出成品纸。

造纸机的传动点分别由交流电动机单独拖动，交流电动机由 ABB全数字变频调速装置驱动，并实现闭环控制。系统采用PLC作为控制核心，由PLC对操作台上的每一个传动点的操作信号进行处理（每个传动点在操作台上都设有速度升高、速度降低、紧纸、爬行/运行等操作按钮），并把相应的速度信号以通信的方式传送给变频器。同时，还对伏辊、驱网、吸移、真空压榨、一压、二压分别进行负荷分配控制。另外，在操作台上还显示每一个传动点的速度及工作电流，并具有运行、故障指示功能。造纸机正常运行对电气传动控制系统的要求有以下几点。

① 造纸机传动系统要有一定的稳速精度和动态响应速度，其稳态精度为±0.02%～± 0.01%，动态精度为0.1%～0.05%。

② 工作速度要有较宽、均匀的调节范围，适应不同品种、不同批量生产的需要，调节范围为1:10。

③ 各传动分部间速比稳定、可调。为了使造纸机可以生产良好的

纸张和延长正常工作时间，造纸机各分部的速度必须是稳定、可调的。各分部的调速范围为±8%～±10%。

④ 爬行速度。为方便检查、清洗聚酯网、压榨毛毯以及检查各分部的运行情况，各分部应具有15～30m/min可调的爬行速度。但低速运转时间不宜过长，以减少无效的运行和机械磨损。

⑤ 具有刚性或柔性连接的传动分部间在维持速度链关系的基础上，还需具有负荷动态调整的功能，以免造成由于负荷动态转移而引起有的分部因过载而过电流，有的分部因轻载而过电压。

⑥ 各分部具有微升、微降功能以及必要的显示功能，如线速度、电流、运行、故障信号等，相关联的分部具有单动、联动功能。

基于分部传动的变频调速控制系统强调的是各传动点的在线无级调速和同步跟随性能，因此，用于分部传动的变频器必须具有以下特性。

① 调速范围宽，在全速度范围内效率必须在90%以上。

② 功率因数高于0.9。

③ 输入谐波电流总失真小于3%。

④ 采用可靠性高、技术成熟的标准器件（IGBT）。

⑤ 能减少输出谐波分量并有效降低du/dt噪声和转矩脉动。

⑥ 利用通信功能实现数据的高速串行传输。

2．电气传动控制系统的设计

造纸机电气传动控制系统的硬件选择依据是系统的控制精度、通信速率、响应时间、性价比、可靠性，选用西门子S7-200 PLC、CP226通信处理器作为系统的主控单元控制整个系统。造纸机的电气控制原理如图7-1所示。

变频器选用ABB公司的ACS800系列高性能变频器，ACS800变频器采用先进的DTC控制技术，内置直流电抗器以降低进线电源的高次谐波含量，最大启动转矩可达200%的电动机额定转矩。ACS800变频器的动态转速误差在闭环时为0.05%，静态精度为0.01%。动态转矩的阶跃响应时间在闭环时达到 1～5ms，可较理想地满足造纸机高传动性能的需要。

由于ACS400本身不带速度反馈接口，为了实现速度闭环控制，需另外加装反馈装置。选用脉冲频率电流变换单元把测速脉冲转换为电流信号输入到变频器中去，利用变频器内部的过程控制软件实现速度变换控制。这种方法的缺点是对于大惯性负载（如烘缸的负载扰动超调量和动态恢复时间较长），给调整带来一定不便，在使用中还要保持一定的工艺条件稳定性。如果工艺变化频繁或波动较大，应转入开环控制。

需要设计的启/停和爬行/运行控制不进入PLC，一方面节省I/O接口，另外也是适应生产工艺需要。造纸机不论大小都要求每一个传动点能独立进行启/停和爬行/运行操作，进入PLC进行联动设计是不必要的，因为在全线开机时为了保证安全和设备的试运转，一般都采用单机启动或停止操作，这样有利于发现故障和减少事故。系统的故障保护及指示回路同样采用继电回路设计。

3．系统的软件设计

程序设计为模块化结构，各种功能以子程序结构适时调用实现；程序采用循环扫描方式对速度链上的传动点进行处理，提高程序执行效率。程序设计通用性强，并具有必要的保护功能和一定的智能性。主程序的流程如图7-2所示。

（1）速度链结构设计

速度链结构采用二叉树数据结构算法，先对各传动点进行数学抽象，确定速度链中各传动点的编号，此编号应与变频器设定的地址一致。任一传动点由3个数据确定其在速度链中的位置，填入位置寄存器相应的数值，由此可构成满足该系统正常工作需要的速度链结构。

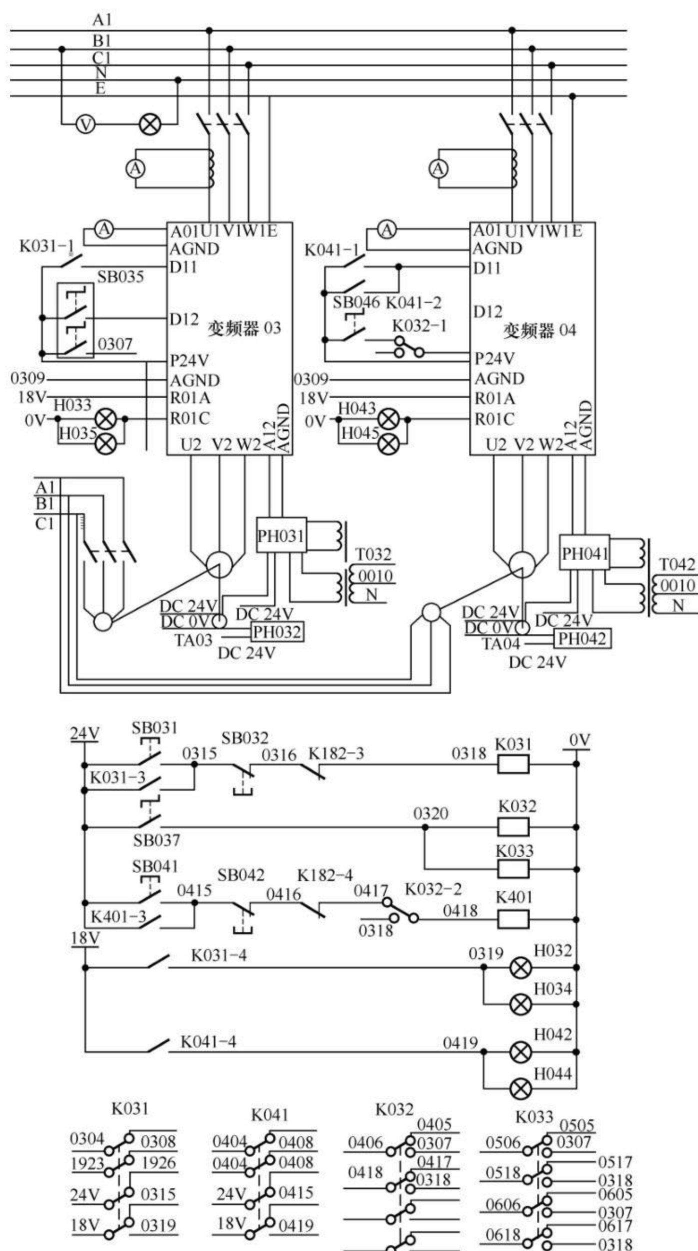


图7-1 造纸机的电气控制原理图

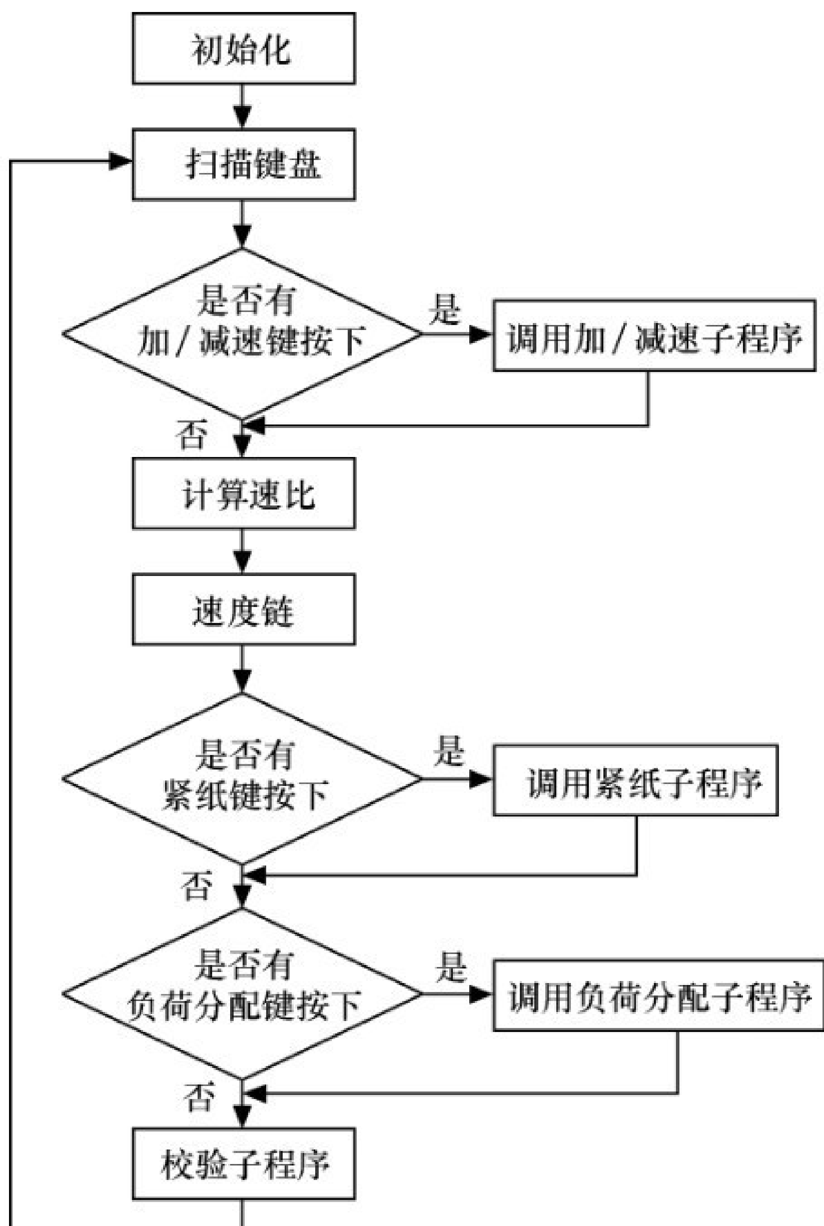


图7-2 主程序流程图

（2）算法设计

速度链的设计采用了调节变比的控制方法，把压榨作为速度链中

的主节点。该点速度即造纸机的工作车速，调节其速度即调节整机车速。其他各分部点的速度由该点车速乘以相应的变比得到。由PLC检测其他分部车速调节信号，通过该部增、减按钮的操作改变其速比，从而改变相应分部的车速。

（3）负荷分配设计

造纸机传动结构上有柔性连接的传动点，烘缸部和压榨部之间不仅要求速度同步，还需要负载率均衡，否则会造成一个传动点由于过载而过电流，而另一传动点则由于被带动而过电压，影响正常抄纸，甚至可能撕坏毛布，损坏变频器、机械设备。因此，这两个传动部分的传动点之间需要负荷分配自动控制。

负荷分配的工作原理是：假设P_{1e}、P_{2e}为两台电动机的额定功率，P_e为额定总负载功率，$P_e = P_{1e} + P_{2e}$。P为实际总负载功率，P_1、P_2为电动机的实际负载功率，则$P = P_1 + P_2$。系统工作要求$P_1 = P \times P_{1e} / P_e$，$P_2 = P \times P_{2e} / P_e$，这两个值相差不大于3%。由于电动机功率是一间接控制量，实际控制以电动机定子转矩代替电动机功率进行计算。

PLC　对各分部电动机的转矩进行采样，计算每一组的总负荷转矩，根据总负荷转矩计算负载平衡时的期望转矩值。PLC通过Modbus总线得到电动机转矩，利用上述原理再施以 PID 算法，调节变频器的输出，使两电动机转矩的百分比一致，即完成负荷自动分配的目标。

设置最大限幅值，如果负荷偏差超过该设定值，要停机处理，以防机械、电气故障发生。负荷分配控制实现的前提是具有合理的速度链结构，使负荷分配的传动点组处于子链结构上，该部负荷调整时不影响其他的传动点，因此，速度链结构采用主链与子链相结合的形式。

4．辅助部分的设计

辅助部分的电气系统应协调工作，以保证系统正常运行和设备安全。造纸机的辅助部分通常包括白水系统、真空系统、压缩空气系统、冷冻水系统、化学品加药系统、损纸回收系统、通风系统等。在实际设计中，为了使造纸机能连续均衡地运转，造纸机辅助部分的生

产能力一般为造纸机最大生产能力的 115%～135%。因此，采用变频调速及其控制技术能有效地降低实际运转中的辅助能耗，比如原先通过调节阀门开度来进行控制的风机和水泵、定速运转的皮带传输机等。

（1）冷冻水变频调速

在造纸机的辅助设备中，涂布和施胶经常要到用冷冻水来处理涂料，以保持涂料化学特性的稳定。现在经常采用冷冻水泵变频调速系统。它的控制原理是利用温度或温差进行控制，因为从严格意义上说，冷冻主机的回水温度和出水温度之差表明了冷冻水从涂料槽带走的热量，所以温差可作为控制依据。同时，由于冷冻主机的出水温度一般较为稳定，故实际上在设计中只需根据回水温度进行控制。

冷冻水系统选用的变频调速系统设计为PID控制，因为大部分的变频器都具有PID功能，所以，控制回路就非常简洁，以回水温度作为反馈信号，而目标温度则可以通过变频器的面板或上位机输出的模拟量信号进行设定。

（2）损纸皮带机变频调速

损纸皮带机负责将干部的断纸或处理纸运送到干损系统，因为皮带的速度通常都按造纸机的最大车速设计，造纸机的运行速度在最大车速的 50%～80%之间，皮带定速运行必将浪费相当多的能量，而且还会产生较大的噪声。采用变频调速可使皮带机的速度跟随造纸机的车速，而且使皮带机的启动频率为20～30Hz，这样既能使皮带机快速反应避免堵纸，又能降低能耗。

5．造纸机变频器的参数设置

（1）造纸机变频器的参数设置原则

采用变频器设计的变频调速系统的性能虽然能满足造纸工艺传动系统的要求，但变频器的参数设置不当，也会影响系统的性能，甚至系统不能正常运行。对于通用型变频器来说，其主要参数和设置方法可以从以下几个方面来考虑。

① 频率信号参数。变频器可采用以下几种方式设置运行频率。

- 操作面板。在变频器的显示面板上都有频率升高和频率降低按

键，通过它们可以改变变频器的运行频率，这是一种数字设定频率的方式。由于这种方式不能在现场实时修改变频器的运行频率，因此，其应用范围受到一定的限制，只能在单电动机拖动且不经常修改运行频率的场合中使用。

• 模拟端子。模拟端子基本都有电压输入和电流输入两种，输入电压有0～5V、0～10V、－5～5V、－10～10V 等几种，输入电流基本上有 0～20mA 和 4～20mA 两种，可以任意设定其中的一种或多种输入，变频器内部用10位以上的模/数转换将其转换成数字量。采用这种方式设定变频器的运行频率可以实现外控操作，且在现场可以实时修改，但模拟量在传输过程中易受干扰，特别是电压信号更容易受干扰，造成系统运行不稳定。若选择模拟端子方式设定运行频率，应选择电流信号。另外，用模拟量设定运行频率，在造纸机传动控制系统中还要解决速度同步问题。

• 数字端子。这种设定频率的方式，各种品牌的变频器叫法不一，如ABB变频器叫电动电位器，而富士变频器叫上升/下降功能等，其实际上就是利用变频器本身的多功能数字输入端子来改变变频器的运行频率，且升/降速的速率可调。这种方式在纸机传动系统中以八缸纸机应用最为典型。

• 通信方式。这种以串行通信的方式设定变频器运行频率的方法在大型造纸机传动系统中应用得最为广泛，常见的有RS-485或CAN总线等。

在通用型变频器的频率设定方式中，常见的是以上4种，这4种方式也并非独立存在，它们可以组合使用。例如，ABB800 系列变频器在设定频率时就可以用模拟量的代数和、多个模拟量的最大值、多个模拟量的最小值、模拟量的乘积、模拟量与通信量的和等多种组合方式。在使用中，应根据实际情况灵活运用。

② 控制命令。它包括控制电动机的启动/停止、运行方向等命令。

• 启动/停止。当系统准备就绪后（通电），变频器处于待机状态，电动机并没有运转。要使系统运转，需给变频器一个启动命令。

有3种方式可以启动变频器：操作面板、外部端子（可以是固定电平也可是脉冲信号）、通信方式。可以根据实际情况，选择其中的任一种方式。变频器停止时的情况和启动时相似，只不过动作相反。

• 运行方向。交流电动机是通过改变其三相输入电源任意两相的相序来改变其旋转方向的，在变频中只需给它一个电平信号自动调整其两相的相序，就可改变电动机的旋转方向。在设计传动系统时，根据工艺要求决定是单向运行还是双向运行。在造纸机传动系统中都是单方向运行，可以通过变频器的参数规定其旋转方向。

③ 限幅参数。限幅是系统正常运行时的参数范围，如最大转矩、电流、频率等对于不同的系统来说其设置值也不相同。

除了以上3类参数之外，还有输出信号类、恒速类、加减速时间等多种参数。

（2）ABB变频器的参数设置

ABB变频器是应用较为广泛的一种品牌，现在主要有ACS800（具有各种功能等级）和ACS400 两大系列，在 2.2～30kW范围内有各种功率等级。另外，在小功率系列当中还有ACS100系列。ABB变频器以其稳定的性能和低廉的价格在造纸机传动系统中被广泛采用。ABB变频器中的ACS800系列在造纸机传动应用中遇到的需经常改动的参数如下。

① 启动数据。它是用于设定电动机信息的一组参数，只需在第一次运行时设置，以后就不需要再改变了。这一组参数包括9901～9910共10个参数。

• 电动机信息。电动机信息包括额定电压（9905）、额定电流（9906）、额定频率（9907）、额定速度（9908）和额定功率（9909）。这些参数是从电动机的铭牌数据中得到的。例如一台4极三相异步电动机，$P_N = 30kW$，$I_N = 59A$，$n_N = 1450r/min$，$f_N = 50Hz$，$U_N = 380V$，则设置参数时，9906 ＝ 59，9907 ＝ 50，9908 ＝ 1450，9909 ＝ 30。

• 电动机控制模式（9904）。ACS800 系列变频器有两种控制模式：DTC（即直接转矩控制）和 SCALAR（即标量控制）。在直接转

矩控制模式下，系统中的给定信号为转矩，即使在没有反馈的情况下（即开环）也可对电动机进行精确的速度及转矩控制。而标量控制相对来说控制精度要差一些。

• 应用宏的选择（9902）。所谓应用宏就是根据变频器在一些常用的场合中所需的一些功能在出厂时已经经过预编程的参数集。ABB800系列变频器的应用宏有Factory（工厂宏）、Hand/Autoctrl（手动/自动宏）、PIDcontrol（PID 控制宏）、Sequentialcontrol（顺序控制宏）、Torquecontrol（转矩控制宏）。用户可根据需要选择应用宏。例如在利用变频器进行压力或流量控制的系统中，就可以用PID控制宏实现闭环控制。

② 变频器控制参数。这些参数主要规定了变频器的启动方式，包括10.01、10.02启动/停机命令的信号源。在外部控制时，变频器的启动和停止应采用外部端子或通信的方式，而ABB800变频器用外部端子又有多种组合，常用的可以设定DI1～DI6 中的任何一个作为启动/停止命令的输入端。

• 10.03用于规定变频器所拖动电动机的旋转方向，根据电机学，三相异步电动机的旋转方向取决于三相输入电源的相序，在需要双向运行（如电梯、升降机等）的场合可以把这个参数设为REQUEST，由数字输入端子来控制电动机的旋转方向。

• 16.01为允许信号，要启动变频器时将该参数设为YES。

③ 给定选择。外部控制选择11.02，ABB800有两个控制源可供选择，即EXT1和EXT2。当选择EXT1时，变频器的启动由10.01所指定的输入端子控制，频率由11.03所指定的方式给定。对于PID应用宏，此时为开环控制；对于转矩控制宏，此时为速度控制。当选择EXT2时，变频器的启动及频率来源分别为10.02、11.06；在PID应用宏及转矩控制宏下分别为闭环控制及转矩控制方式。

频率给定源选择10.031、1.06分别是EXT1、EXT2的给定源，若给定信号为模拟量，可以选择模拟输入端子AI1～AI3中进行给定。这里要说明的是AI1为DC 0～10V电压信号，AI2～AI3为0～20mA电流信号。当然也可以采用通信方式或数字端子（即电动电位器）进行频

率设定。

④ 恒速。在有些场合中，如造纸机在爬行时，不需要改变变频器的运行频率就可以用恒速功能。ABB800变频器有15种速度可以供用户选择。

⑤ 加/减速时间。加/减速时间及积分类型的选择十分重要，特别是在拖动大惯性负载时，如在造纸机传动系统中，拖动烘缸的变频器的加/减速时间应大一些。如加速时间过短，启动时电动机处于堵转状态，容易发生过流故障；如减速时间过短，则可能发生惯性负载拖动电动机的现象，使电动机处于发电状态，变频器会发生过压故障。在这些场合中如允许，可采用自由停机方式（即将21.03设为COAST）。在造纸机传动系统中，烘缸传动加速时间20.02可设为30～40s，减速时间可稍长一些，即22.03可设为40～80s，其余传动单元的加/减速时间均可设为20～30s。参数22.06加/减速积分类型有两种：线性积分和S形曲线。一般传动系统均可采用线性积分，在电梯及复卷机传动系统中则采用S形曲线。

⑥ 限幅参数。限幅参数主要规定电流转矩、最高运行频率等参数，在 ABB800 系列变频器中，最大输出电流能达到200%I_{hd}，在转矩控制模式下最大输出电流能达300%I_{nd}。一般来说，在造纸机传动控制中都能满足要求，这些参数基本上不用修改（参数代码20.03、20.04）。

对于最高运行频率，一般出厂时设定为50Hz，如果传动系统减速器选择得合适的话，也不用修改，如果要修改这一参数，要注意的是在运行频率大于 50Hz 时为恒功率调速。在为ABB800 变频器修改最高运行频率时，需设定以下几个参数（以改为 65Hz 为例）：将99.07改为65Hz，将20.08改为65Hz，将11.05改为1950r/min（对于4极电动机）。

⑦ 闭环控制参数。闭环控制的实现对于 ABB800 变频器来说有两种途径：配编码器反馈卡的速度闭环控制和过程PID控制。

• 速度闭环控制。此时要设定的参数如下。

50.01：编码器每转的脉冲数，这一参数根据所选编码器来确

定，一般有360、500、1024、2048等规格。

50.02：编码器脉冲的计算，一般在造纸机传动中不需正反转运行，可以设定为单A或B输入即可。

23.01：速度控制器的增益。

23.02：速度控制器的微分时间。该参数要根据具体的传动系统进行整定，使稳定的动态性能指标均满足要求。

98.01：脉冲编码器可选模块。应设为YES。

• 过程 PID 闭环控制。在压力、流量等闭环控制系统中，往往把压力或流量通过传感器转换为电压或电流信号，这时就可以采用过程PID控制方式，参数设置时主要是整定PID参数。

40.01PID：控制器增益。

40.02PID：控制器积分时间。

40.03PID：控制器微分时间。

当然，ACS800 变频器的参数很多，除了以上所列的几种之外还有通信参数、故障管理参数等。

6．系统调试

系统调试分为继电回路调试、软件调试、负荷分配调试及速度测试等。继电回路调试可按常规电气调试方法进行，软件调试的方法是首先验证PLC动作是否正常，可以在连通整个系统的情况下观察变频器的显示频率进行验证。如在I/O端口上加上开关信号，观察应当动作的变频器单元，看是否按要求对频率进行了调整。如正常，试验负荷分配的动作、方向是否与设计时一致。可以在端子上加信号使电流增大或减小，如果相应的传动点频率按计算结果变化，则表示正常。最后检查通信的可靠性，可以从变频器上读出通信的错误率代码，并作相应处理。

系统动作时间测试是在系统的第一级、中间一级和最后一级接上速度表，然后通过各点的加/减速按钮来检查频率变化情况。在正常情况下，当按下按钮后应没有明显的滞后感，否则应检查程序和硬件线路。采用I/O端扫描，其反应时间在最坏情况下应为数百毫秒，否则会感到操作不便。

7.2 四方E380系列变频器在伸线机上的应用

E380型变频器在E350系列的基础上改进了硬件和软件设计，集成了多种专用功能。针对拉丝行业，E380改进了PID设计，通过主机的前馈PID设计达到张力的平衡。为实现主机和卷绕机的稳定同步，E380通过RS-485通信功能实现由其构成的系统具有高性能。

1．系统控制及参数设置

图 7-3 为系统控制简图，简图中外部元器件的功能是：R1 为主机频率设定电位器，R2为从机制动电阻，R3为张力杆高精度电位器，S1为主机点动脚踏开关，S2为主机启动自锁按钮，S3为主机、从机复位非自锁按钮，S4为外部急停机械自锁按钮，S5为摆杆位置检测接近开关，MC1为抱闸控制输出继电器，MC2为排线启动控制输出继电器。

（1）主机点动独立控制

在牵引线过程中，需要单独控制主机牵引拉伸穿线，此时不能启动卷绕机。实现方法是通过多功能端子X1实现主机点动，点动频率不同步。主机参数设置为：F3.0 ＝ 6，F9.3 ＝ x1x1。选择外部多功能端子为正转点动控制，主机点动不同步输出。

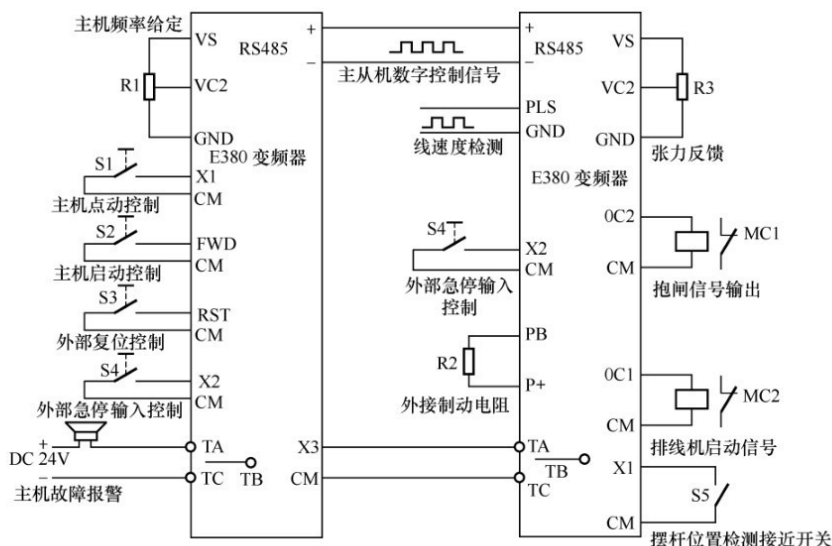


图7-3 系统控制简图

（2）卷绕机启动控制

通过 RS-485 通信，使卷绕机在主机运行到一定频率后开始执行卷绕操作。与很多变频器不同的是，从机不需要给出单独的启动控制指令，而是由主机通过 RS-485 通信控制，只需要设定从机的起始频率即可。卷绕机参数设置为：F8.1 ＝ 2。主机设定频率高于 2Hz 时，从机开始启动运行。

（3）主从频率联动

主机与从机的频率存在一定的对应关系，四方变频器可以自适应地寻找主从频率对应比。合理地设置主从联动比例和机械传动比，可使拉丝机较快进入稳定状态。主机参数设定为：F9.0 ＝ 0014，F9.3 ＝ 1111，F9.5 ＝ 1.0。从机参数设定为：F9.0 ＝ 0014，F0.1 ＝ 2。主机和卷绕机的通信功能配置均相同，主机设置点动频率不输出，则主机点动时不同时启动从机，输出频率为同步频率源。联动输出比例设置为 0.7。主机必须以输出频率作为同步频率源，不能以设定频率作为频率源，否则容易出现不稳定现象。

（4）主机速度频率给定

主机变频器的速度决定了整个拉丝机系统的工作效率，为方便现

场工作，主机变频器频率输出一般通过外接电位器来实现。主机参数设定为：F0.1 ＝ 5，F0.8 ＝ 80，F2.2 ＝ 0，F2.3 ＝ 10， F2.8 ＝ 0，F2.9 ＝ 80，F0.10 ＝ 50，F0.11 ＝ 50。主机通过外接电位器调节速度。为保证效率，主机的上限频率一般设置到80Hz，主机的加、减速时间不宜过短，一般设定为40～100s。

（5）排线机启动控制

卷绕机启动后，为使卷绕铜丝均匀，需启动排线机。排线机的启动由卷绕机变频器的集电极端子OC1的输出信号控制。卷绕机参数设定为：F3.6 ＝ 2，F3.10 ＝ 2，F3.11 ＝ 0.1。OC1输出选择FDT电平输出信号，FDT频率设定为2Hz，即当从机变频器输出频率大于2Hz时，启动排线机。

（6）卷绕机的张力反馈

张力杆的稳定度是衡量产品质量的标准，如果张力杆不稳定，产品的线径就不够均匀。系统通过张力反馈信号来实现卷绕机频率的调节而保持张力恒定，伸线机的张力反馈器为高精度电位器，通过变频器的5V电平输出提供电源，反馈输入信号接入VC1。从机参数设定为：F0.0 ＝ 0001，F2.0 ＝ 0，F2.1 ＝ 5，F7.0 ＝ 0，F7.1 ＝ 0021，F8.11 ＝ 50。从机采用拉丝模式， PID的反馈通道选择为VC1。选择PID功能有效。为方便调试，对于卷绕机的张力反馈调节需要调节张力杆电位器的位置，通过监控D-9参数微调，使张力杆在平衡位置时达到中心点。

（7）线速度检测功能

卷绕机的线速度检测一般通过导轮的接近开关实现，通过检测接近开关的频率，可以实现卷绕机线速度的检测，从而实现自动计量长度功能。卷绕机参数设定为：F8.8 ＝ 4，F2.6 ＝ 0， F2.7 ＝ 0.2。线速度输入源使用PLS脉冲输入信号。考虑到最高线速度，设置最高脉冲输入频率为 200Hz。卷绕机的线速度是对应的最大线速度，需要根据导轮的半径具体计算。导轮转动一圈，接近开关输出一个脉冲时的计算方法如下。

$$F8.9 = 2 \times (3.14) \times R \times (F_{2.7}) \times 1000 \qquad (7\text{-}1)$$

式中：R为导轮的半径（m）；F8.9的单位为m/s。

（8）断线故障检测以及抱闸信号输出

根据接近开关输入信号检测是否出现断线故障时，为了防止误检测，从机需要正确设定下列参数：F8.12 ＝ 1，F8.13 ＝ 10，F8.14 ＝ 20%，F8.15 ＝ 2，F8.16 ＝ 1，F8.18 ＝ 7，F8.20 ＝ 7， F3.7 ＝ 21。变频器断线检测功能在从机频率高于10Hz，延时2s以后，且摆杆位置低于20%的时间在1s以上时有效。当卷绕机检测到断线故障时，需要及时输出抱闸信号到机械系统，实现紧急停车。此时变频器自由停车，使用OC2信号输出功能。

（9）卷绕机停机参数设定

卷绕机在停机过程中，当频率较低时候，反馈系统容易不稳定。为了在停机时避免较大的张力杆摆幅而造成断线，一般对卷绕部分进行直流制动停机。参数设定为：F8.19 ＝ 1.5Hz， F8.20 ＝ 7。停机方式选择为减速停机，起始频率设置为1.5Hz，刹车时间为7s。

（10）平滑启动功能

卷绕机在启动时，由于预先给定了前馈频率，从而容易造成启动冲击而使张力杆不稳定。四方E380拉丝专用变频器优化了启动过程的算法，通过参数F8.0的合适设置，可以达到平稳启动，实现启停基本不断线。

2．参考参数

四方变频器主机参考参数的设置见表7-1。

表7-1 四方变频器主机参考参数的设置

功能代码	名　称	出　厂　值	参考设定值	参数简述
F0.0	运行模式	0	0	使用通用模式
F0.1	频率通道	2	5	选择 VC2 进行频率设定
F0.4	运行命令方式	0002	0001	外部端子控制启停
F0.6	转向控制	0010	0010	反向防止有效
F0.7	下限频率	0	0	下限频率 0
F0.8	上限频率	50	80	上限频率 80

续表

功能代码	名　　称	出　厂　值	参考设定值	参数简述
F0.10	加速时间 1	1	50	加速时间 50
F0.11	减速时间 1	1	50	减速时间 50
F2.1	模拟量最小值	0	0	最小模拟量输入 0
F2.2	模拟量最大值	10	10	最大模拟量输入 10
F2.8	最小对应频率	0	0	最小模拟量对应频率 0
F2.9	最大对应频率	50	80	最大模拟量对应频率 80
F3.0	X1 功能	1	6	X1 点动控制
F3.1	X2 功能	16	17	X2 外部故障输入
F3.2	X3 功能	3	16	X3 自由停机指令
F9.0	通信设置	0014	0014	通信基本设置
F9.3	通信设置	0010	1111	主机通信设置

四方变频器从机对应参数的设置见表7-2。

表7-2 四方变频器从机参考参数的设置

功能代码	名　　称	出　厂　值	参考设定值	参数简述
F0.0	模式选择	0001	0001	拉丝模式
F0.1	频率输入通道	2	2	RS-485 频率输入选择
F0.4	运行命令通道	0002	0002	RS-485 启停控制选择
F0.6	转向控制	0010	0010	反向防止有效
F0.7	下限频率	0	0	
F0.8	上限频率	50	80	上限频率设定为 80Hz
F0.10	加速时间	×	1	加速时间 1s
F0.11	减速时间	×	1	减速时间 1s
F2.0	VC1 输入下限	0	0	摆杆反馈电压最小 0V
F2.1	VC1 输入上限	5	4.5	摆杆反馈电压最大 4.5V
F2.6	PLS 输入下限	0	0	线速度脉冲最小 0Hz
F2.7	PLS 输入上限	10	0.2	线速度脉冲最大 200Hz
F3.0	输入端子 1 选择	1	34	断线接近开关输入端子
F3.1	输入端子 2 选择	16	17	外部故障急停
F3.6	输出端口 1 选择	0	2	OC1 选择排线机输出
F3.7	输出端口 2 选择	22	22	OC2 抱闸输出
F3.8	继电器输出	16	16	变频器故障输出
F3.10	FDT 水平设定	2	2	排线机 2Hz 启动
F3.11	FDT 输出延迟	0.1	0.1	排线机延迟 0.1s

续表

功能代码	名　　称	出　厂　值	参考设定值	参数简述
F4.5	断线等待时间	0.1	0.1	断线后等待 0.1s 输出抱闸
F4.17	第二加速时间	1	0.7	PID 环加速时间
F4.18	第二减速时间	1	0.7	PID 环减速时间
F7.0	PID 反馈通道	1	0	反馈杆通道选择 VC1
F7.1	PID 功能设置	0021	0021	根据运行频率调整 PID
F7.2	比例增益 1	1	0.95	比例增益 1 为 0.95
F7.3	积分时间 1	10	10	积分时间常数 1 为 10
F7.4	微分时间 1	2	4	微分时间常数 1 为 4
F7.5	比例增益 2	1	0.5	比例增益 2 为 0.6
F7.6	积分时间 2	15	20	积分时间常数 2 为 30
F7.7	微分时间 2	5	4	微分时间常数 2 为 4
F7.8	PID 上限限幅	20	20	PID 限幅 20
F8.0	启动延时增益	10	8	启动延迟为 8s
F8.1	起始动作频率	6	1.5	等待主机频率为 1.5Hz 后启动
F8.8	线速度输入源	0	4	脉冲输入
F8.9	最大线速度	2500	2500	最大线速度 2500m/s
F8.12	断线检测方式	0	1	根据反馈杆接近开关检测
F8.13	断线检测最低频率	10	10	从机超过 10Hz 时开始检测
F8.14	断线检测下限值	10%	20%	摆杆下限 20%检测
F8.16	断线检测判断延时	2	0.5	断线延时判断时间 0.5s
F8.17	断线故障自动复位	0	1	故障自动复位有效
F8.18	断线故障自动复位	15	7	断线故障自动复位时间
F8.20	刹车时间	3	7	刹车保持时间
F9.0	通信设置	0014	0014	通信基本设置
F9.3	通信辅助设置	0010	0010	设置本站为从机

3．系统调试

（1）摆杆反馈位置的调试

四方变频器的启动过程不需要人为参与，但须保证满足以下条件。

① 启动初始时，摆杆位置反馈值最小。

② 启动过程完成后，摆杆的平衡稳定点处于反馈中间位置。可以通过监测参数D － 9，调节参数F2.2、F2.3实现（即保证在摆杆最低位置时D － 9 ＝ 0，在摆杆最高位置时D － 9 ＝ 100，在摆杆平衡位置时D － 9 ＝ 50）。

（2）启动停机过程的调试

四方变频器采用独特的启动算法，最大限度地保持卷绕机摆杆启

动过程平稳，实现启停不断线。影响启停的关键的参数有以下几个。

① 主机的加/减速时间。主机加/减速时间越长，启停稳定度越高，一般推荐使用50s以上。

② 从机的加/减速时间。从机加/减速时间有加/减速时间1和加/减速时间4两种，其中加/减速时间1为变频器的输出频率加/减速时间，加/减速时间4为前馈PID输出的加/减速时间。为了保证变频器启动、停机以及平稳运行时的快速响应，在保证变频器无故障输出时，应该尽量缩短此两个加/减速时间。

③ 启动平滑时间。平滑时间是指启动过程中摆杆被拉起的时间。时间越长，摆杆启动的平稳度越好；时间越短，摆杆启动得越快，需要折中选择。

④ 联动设定比。四方变频器具有自动识别联动比例功能，在第一次使用时，如果没有正确设置联动比例，则可能出现启停不稳定的情况。可以通过人为调节正确的联动比例实现启动、停机稳定，也可以通过第一次启动使变频器自动识别，在第二次及以后的启动过程均可以保证变频器正常启停。

（3）摆杆平稳度的调试

摆杆的平稳度是检验变频器性能的标准。四方变频器使用的是前馈PID功能算法，最大限度地保证了摆杆平稳运行。四方变频器可以选择单一参数组，也可以根据运行频率自动调节PID参数组。PID参数组的基本调试方法如下。

① 比例增益。比例增益影响 PID 环节的快速响应。若摆杆在启停或者稳定运行时出现较大的超调，可适当增大此参数值。

② 积分时间常数。积分时间常数是保证 PID 环节稳定的关键参数，延长积分时间，可以减小在稳定运行时的摆杆振幅。过大的积分时间常数容易形成摆杆的大幅超调。

③ 微分时间常数。微分时间常数可使 PID 环节作出预先判断，抑制摆杆超调，但是此参数值设置得过大时，容易出现振荡。

（4）调试过程中有关问题的处理

① 启动断线。如是第一次上电启动时出现断线，可能是机械传动

比或主机和从机的频率比例设置得不够合理，导致变频器软件误判为正确的机械传动比或主从频率比，此种状况在第二次试机时可消除。四方变频器的专用模块可在第一次启动过程中正确检测传动比是否合理。

如非第一次启动断线，摆杆被拉升到高位断线，此种情况可能是由于主机的加/减时间过短所致，此时适当延长主机的加/减速时间。一般主机的加/减速时间大于50s。

② 启动过程加速。四方变频器在启动过程中采用了独特的算法，从机必须在主机启动后启动，不能同时启动，否则容易出现摆杆不稳定现象。在从机启动后必须快速爬升到摆杆的启动频率，此过程的持续时间在3s左右，可以通过降低起始动作频率缩短此过程，同时缩短启动增益延时时间。

③ 启动过程摆杆振幅比较大。启动振幅大与几个因素有关：第一是主机加/减速时间，此时间过短会导致主机的输入频率变换过快，而使从机频率跟踪速度不稳定，导致摆杆稳定度不够；第二与启动增益有关，延长启动增益时间，可以提高摆杆的稳定度。

④ 手动摆杆到目标位置，从机启动过慢。若系统原来使用其他品牌的变频器或者 PID控制板，由于启动过程不够稳定，习惯将摆杆预先放置在目标位置。使用四方收卷变频器时发现如果预先给定摆杆位置，此时从机启动速度太慢。这是因为四方变频器的启动算法较为独特，启动过程不需要人为参与。每次启动过程都是参数的自校正过程，人为参与会导致参数的自校正错误，从而使变频器的启动速度过慢。

⑤ 摆杆在拉丝过程中振幅较大，或出现振荡断线情况。四方PID算法能够保证摆杆的稳定度，但是如果随频率的变化，导致PID参数不能适用当前运行频率时，可能会出现这种状态。此时有两个解决办法：一是根据运行频率设置PID 参数，在高频时使用第一组参数，低频时使用第二组参数，具体参数可以参考从机参数表；二是适当降低当前PID 控制器的微分参数。微分参数在保证摆杆稳定度时也增加了系统的不稳定性，适当减小此参数可大大增加系统的稳定度。

7.3 ABB变频技术在桥机上的应用

1．桥机的起升机构

桥机的核心机构是起升机构，在起升机构上采用变频调速技术时必须解决以下关键问题。

① 低频时能保证恒转矩输出，以避免低频时在满负载工况下发生带不动负载的现象。

② 满负载时在空中制动停车或再提升时，不产生溜钩现象。

③ 电动机减速或重载下放时，再生制动能量必须迅速释放。

④ 实现恒转矩调速和恒功率调速，轻、空载起升速度提高1倍。

桥机电控系统采用了“PLC＋变频调速＋MPI网”三级控制方案。桥机的控制过程是通过联动台主令控制器将数字量信号传送给PLC，由PLC运算处理后，再由PLC模拟量输出模块输出直流电压信号（0～10V）给交流变频器。通过交流变频器内部的参数设定，输出相应的速度，各挡速度可在PLC中任意设定。

桥机的主起升速度为0.18～1.8m/min，副起升速度为0.68～6.8m/min。主令控制器分为4挡，上下各为额定速度的10%、30%、60%、100%；启动、停止和各挡速度过渡平稳，无冲击，属有挡位无级调速方式。主、副钩的操作手柄分别设在左、右联动台上，可满足主、副钩的同时工作和副钩协同主钩倾翻或翻转起吊构件的要求。

当桥机采用变频器调速时，在起升机构上升或下降以及在空中停止的瞬间，机械制动回路与变频器加、减速时间的匹配非常关键。在工作过程中，既要防止溜钩现象，又必须防止由于时间匹配不当而引起松闸太慢或抱闸太快的现象。若匹配不当，可能引起电动机堵转，导致变频器保护跳闸，致使工作中断。在实际应用中，通过在启动时控制起升制动器延时松闸，停止时控制变频器在零速信号下进行抱闸，能较好地控制溜钩现象。

对再生制动能量的处理方式有两种：一种是用制动单元和制动电阻来吸收，另一种是通过在直流侧设置公共母线的逆变桥使之回馈到

电网。采用能耗电阻的方式，在制动单元和制动电阻的选择上应考虑到起升机构属位能性负载特性，不能采用制造厂商推荐使用的制动单元和制动电阻的容量，必须增大制动单元和制动电阻的容量。电阻的阻值决定着制动电流，也就决定着制动时间的长短。根据起重机变频调速系统中长时间的制动转矩特性，需要考虑的并不是制动电阻的阻值而是它的功率，即在设计中应把制动电阻的功率增加1倍，保证再生制动能量迅速释放。

在50Hz以下实现恒转矩调整，空钩或只带吊具时可运行在50Hz以上，速度提高1倍，实现恒功率调整。若PLC 与变频器控制为通信方式，起升速度可随载荷自动调整。PLC 通过检测吊重启动时的电流值进行控制，也可能通过超负荷限制器的质量信号来控制恒功率升速，提高生产率。桥机应用变频调速技术的特点如下。

① 与直流传动方案相比，可以不用制造结构复杂、价格较高、维护麻烦的直流电动机，而选用方便、节能、经济的交流电动机。

② 与常规电气控制方案相比，省去了电动机转子侧的大功率电阻、加速接触器和电动机正反转交流接触器。

③ 电动机加/减速时间可调整，可实现系统的软启动、软停止，速度变化平滑，运行平稳，低速性能稳定。

④ 能满足起升机构对调速硬度、低频转矩特性及四象限运行的要求；可以长时间低速运行，能有效防止重载提升时空中溜钩现象。

⑤ 采用矢量控制闭环方式，零赫兹时起升电动机也能以额定转矩输出，实现零速抱闸；可以全速受控，减小抱闸闭合时的振动及抱闸磨损。

⑥ 桥机采用变频调速技术，无须采用机械变速装置，利用工频（50Hz）以上恒功率调速方式，将桥机空钩及轻载工况的起升速度提高1倍，可大大提高生产率。

⑦ 配用PLC后，控制柜体积大为减小，若与变频器之间采用通信方式，则无须使用PLC I/O接口及变频器输入端子。

2．变频调速系统设计

双梁桥机电气传动系统设计中选用了 ABB 交流调速装置，其中

主起升和副起升机构采用 ACC800 变频器，小车和大车行走机构采用了 ACS800 变频器。ABB 交流调速装置分为ACC和ACS两种系列，ACC和ACS在硬件组成和结构上基本一样，区别在于控制软件。ACC是专门为起重机设计的，它有一个专门控制制动器的标准提升应用宏，适用于位能性负载。它可以做到打开制动器时电动机以零速保持着重物，然后根据装置内设定的加、减速曲线加速到给定值，解决了溜钩问题。ACS是为风机、水泵、平移机构等摩擦性负载而设计的，在起重机中主要用于行走等平移机构。

（1）变频器的容量选择

应本着变频器额定电流大于电动机额定电流的原则来选配变频器容量。

$$I_b \geq I_d \times K_1 \times K_2 / K_3 \qquad (7\text{-}2)$$

式中：I_b 为变频器的额定电流；I_d 为电动机的额定电流；K_1 为最大负载系数，为所需最大转矩与电动机额定转矩之比；K_2 为余量系数，一般 $K_2 = 1.2$；K_3 为变频器过载能力系数，对于不同的变频器生产厂家，K_3 值不一样，ABB 和安川公司一般取$K_3 = 1.5$，西门子公司取$K_3 = 1.36$。

经计算，主起升机构由1台YZPB（F）250M1-637kW变频电动机驱动，副起升机构由1台YZPB（F）225M-630kW变频电动机驱动。可采用ABB公司专门为位能性负载设计的ACC800-01-0060-3变频器，其内置制动斩波器；调速方式为带编码器的闭环控制，调速范围为1:10。

大车运行机构由2台YZPB（F）E132M2-46.3kW变频电动机驱动，2台电动机由一套变频器控制；小车运行机构由1台YZPB（F）E132M1-45.5kW变频电动机驱动。大、小车运行机构属位移性负载，所以，采用ABB公司的ACS800-01-0025-3（大车）和ACS800-01-0011-3（小车）型变频器。系统采用开环控制，调速范围为1:10。

大车运行速度为3～30m/min，小车运行速度为1.8～18m/min。同起升机构一样，主令挡位开关量通过PLC处理后，输出模拟量给变

频器，再由变频器输出相应的速度信号，各挡速度可在PLC中任意设定。大、小车主令挡位分为5挡，各挡速度分别为额定速度的10%、30%、50%、70%、100%，同起升机构一样也属于有挡位无级调速方式。起升机构的电路原理如图7-4所示，大、小车运行机构的电路原理如图7-5所示。

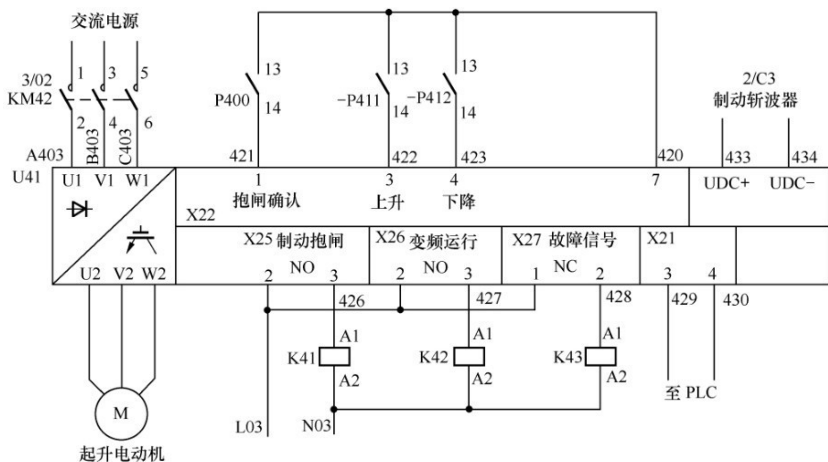


图7-4 起升机构的电路原理图

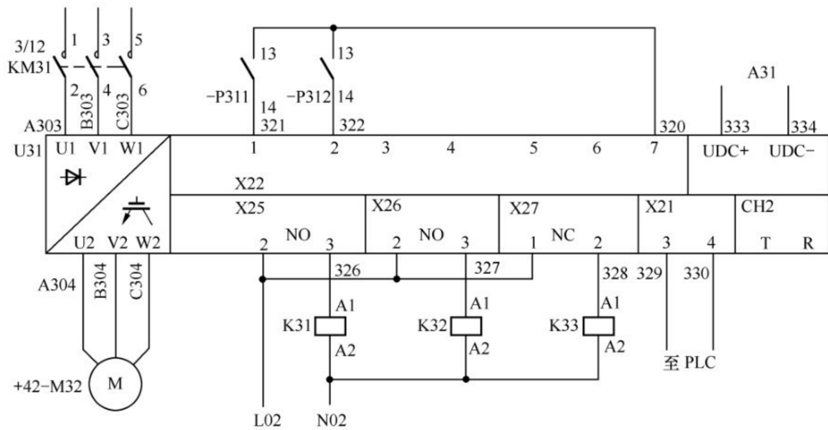


图7-5 大、小车运行机构的电路原理图

（2）制动电阻的选择

制动电阻的阻值选择以使制动电流不超过变频器额定电流的一半

为宜。

$$I_B = U_D / R \leq I_e / 2 \tag{7-3}$$

从而得到

$$R \geq 2U_D / I_e \tag{7-4}$$

式中：R为制动电阻；U_D 为变频器内整流后直流侧的电压；I_e 为变频器的额定电流；I_B 为制动电流。

制动电阻的功率为

$$P_B \geq \alpha_B U_D^2 / R \tag{7-5}$$

式中：P_B 为制动电阻的功率；α_B 为选用系数；U_D 为变频器内整流后直流侧的电压；R为制动电阻的阻值。

α_B 的取值范围为0.3～0.5，因为在起重机中，吊钩下降全过程的工作状态属于电动机的再生发电制动状态，可以认为是长时工作制，因此选用$\alpha_B = 1.0$。

（3）制动单元的选择

制动单元的功能是当直流回路的电压超过规定的限值时，接通能耗电路，使直流回路通过制动电阻释放能量。制动单元的额定电流按在正常的直流侧电压下流经制动电阻的电流的2倍来选择。

$$I_{CM} \geq 2U_D / R \tag{7-6}$$

3．变频器参数设置

（1）ACC800变频器主要参数的设置

① 应用宏的选择。ACC提供了两个应用宏：CRANE和M/FCTRL。CRANE宏为不带主/从总线功能的提升应用宏，M/FCTRL 为带主/从总线功能的提升应用宏，本机选择CRANE宏。

② 基本参数的设置。根据电动机铭牌上的额定电压、额定电流、额定转速、额定功率等设置参数 99.5～99.9；也可以通过 CDP312控制盘的 FUNC功能键根据启动向导的英文提示一步步进行参数设定，参数设定好后即可进行电动机的辨识运行。在电动机与其驱动的设备无法分离时，参数99.10应选择IDMAGN；在电动机与其驱动的设备分离时，为了保证最高的控制精度，参数99.10应选择STANDARD。根据ACC800变频器的特点，由参数10.1设定的制动应答数字输入点

一定要和实际接线相对应，此输入点没信号，变频器将无法启动。

③　　其他参数的设置。组13（模拟输入）、组14（继电器输出）、组20（极限值）、组23　（速度控制）和组　27（制动斩波器）等参数可根据实际需要设定。桥机起升部分的编码器由组50的参数进行设置，与之配合的参数98.1应设为RTAC-SLOT1，以激活脉冲编码器，使之为可用状态。ACC800变频器有两种外部控制模式，即FIELDBUS模式和STANDALONE模式，采用外部开关量控制，参数64.1应选择TRUE。

（2）ACS800变频器主要参数的设置

桥机的大、小车运行机构采用ACS800变频器构成没有编码器的开环控制系统。参数设置比较简单，参数99.4设置为DTC控制。根据电动机的铭牌将组99的参数设置好后，即可作电动机的辨识运行。电动机辨识运行后，根据实际需要，对组10（启动/停止/方向）、组11（给定选择）、组13（模拟输入）、组14（继电器输出）、组20（极限值）、组21（启动/停止）、组23（速度控制）和组27（制动斩波器）等参数进行设置。参数设置结束，整机变频器参数的设置即告结束。

7.4 时代变频器在恒压供水行业中的应用

1．恒压供水控制系统

恒压供水控制系统的基本控制策略是：采用电动机调速装置与可编程控制器（PLC）构成控制系统，进行优化控制泵组的调速运行，并自动调整泵组的运行台数，完成供水压力的闭环控制，在管网流量变化时达到稳定供水压力和节约电能的目的。对系统设定的给水压力值与反馈的总管压力实际值进行比较，其差值输入CPU，经运算处理后发出控制指令，控制泵电动机的投运台数和转速，从而使给水总管压力稳定在设定的压力值上。恒压供水控制系统的优点如下。

① 恒压供水技术采用变频器改变电动机的电源频率，从而达到调节水泵转速、改变水泵出口压力的目的。相对于靠调节阀门控制水泵出口压力的方式，具有降低管道阻力、减少截流损失的效能。

② 由于水泵工作在变频工况下，在其出口流量小于额定流量时，水泵转速降低，减少了轴承的磨损和发热，延长泵和电动机的机械使用寿命。

③ 因实现恒压自动控制，不需要操作人员频繁操作，降低了人员的劳动强度，通过通信控制可以实现无人值守，节约了人力和物力。

④ 水泵电动机采用软启动方式，按设定的加速时间加速，运行合理。由于是软启动和软停止，不但可以消除水锤效应，而且电动机轴上的平均扭矩和磨损减小，减少了维修量和维修费用，并且使水泵的寿命大大提高。这样可避免电动机启动时的电流冲击对电网电压造成波动的影响，同时也可避免电动机突然加速而造成泵系统发生喘振。

⑤ 由于水泵工作在变频工作状态下，在运行过程中其转速是由外供水量决定的，故系统在运行过程中可节约电能，其经济效益是十分明显的。

⑥ 占地面积小，投入少，效率高。

⑦ 配置灵活，自动化程度高，功能齐全，灵活可靠。

⑧ 由于变频恒压调速方式直接从水源供水，减少了原有供水方式的二次污染，消除了很多传染疾病的传染源头。

变频调速恒压供水设备的主要应用场合如下。

① 高层建筑、城乡居民小区、企事业单位的生活用水。

② 需要恒压控制的冷却水循环、热力网水循环、锅炉补水等。

③ 中央空调系统。

④ 自来水厂增压系统。

⑤ 农田灌溉、污水处理、人造喷泉。

⑥ 各种流体的恒压控制系统。

一般供水系统由3台水泵组成，3台水泵包括一台小水泵和两台大水泵，通过3台水泵的协调工作来满足供水需要。系统组成如图7-6所示。该系统由一台PLC、一台变频器、两个压力传感器、一个控制柜

及相关设备组成。利用一台变频器可以控制两台大水泵（2#、3#泵）的运行，小水泵（1#泵）始终处于工频电源运行状态，两台大水泵由变频器控制实现变频工况运行。

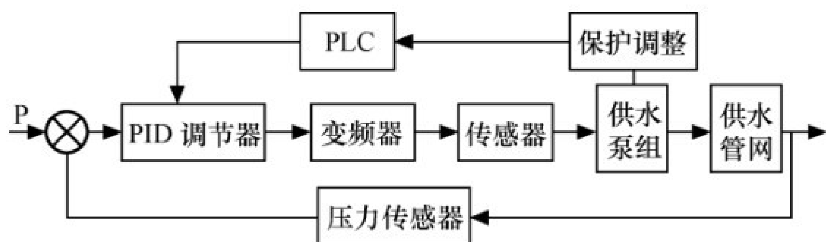


图7-6 系统组成框图

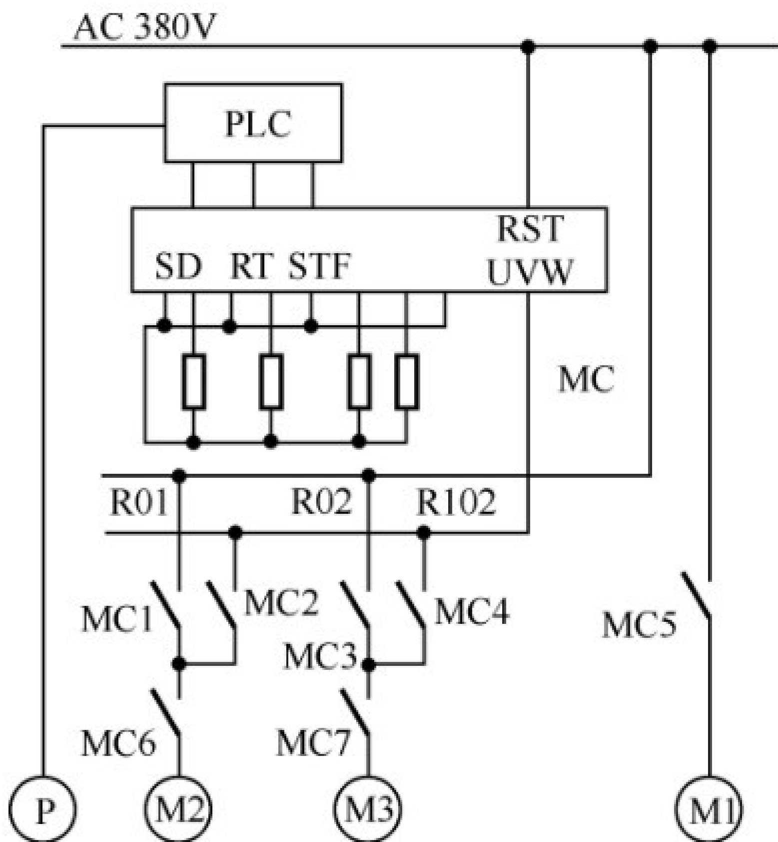


图7-7 控制系统硬件组成图

图 7-7 为3 台水泵构成恒压供水系统硬件组成图。在图7-7中，MC1、MC2互锁，MC3、MC4互锁，MC6用于切断2#泵的运行，MC7用于切断3#泵的运行。该系统构成具有结构简单、成本低、可靠性高等特点。

该系统采用3台水泵变频运行实现恒压供水，在自动运行方式下，PLC控制变频器软启动2#泵，此时2#泵进入变频运行状态，其转速逐渐升高。当供水量$Q < Q_{max}/3$时（Q_{max}为3台水泵全部工频运行时的最大流量），PLC根据供水量的变化自动调节2#泵的转速，以保证所需的供水压力。当用水量Q在$Q_{max}/3$和$2Q_{max}/3$之间时，2#泵已不能提供用户所需的用水量。这时 PLC 发出指令启动 1#泵，使1#泵进入工频电源运行状态。2#泵的转速由用户的用水量决定，以保证供水系统最不利点所需的供水压力。当$2Q_{max}/3 < Q < Q_{max}$时，PLC发出指令，再将2#泵置于工频电源运行状态，同时3#泵软启动，进入变频运行工况。此时3#泵的转速由用户的用水量确定，以保证供水系统最不利点的供水压力恒定。

当外供水量减少至$Q_{max}/3 < Q < 2Q_{max}/3$时，3#泵的转速逐渐降至接近于零，此时 PLC发出3#泵退出运行指令。在3#泵退出运行后，2#泵处于变频运行工况，其转速仍由外供水量决定。当外供水量继续减少至$Q < Q_{max}/3$时，PLC发出1#泵退出运行指令，此时2#泵仍处于变频运行工况。当外供水量再增至$Q_{max}/3 < Q < 2Q_{max}/3$时，PLC发出1#泵启动指令，如此往复循环以实现系统的恒压供水。

2．自动切换变频/工频运行功能

变频器提供3种不同的工作方式供选择。

方式 0：基本工作方式。变频器始终固定驱动一台泵并实时根据其输出频率控制其他水泵启停。当变频器的输出频率达到最高频率时，启动一台水泵进入工频电源运行状态；当变频器的输出频率达到最小频率时，则使最后启动的水泵停止运行。由此控制增减工频运行水泵的台数。

方式1：交替方式。变频器通常固定驱动某台水泵，并实时根据输出频率使其他水泵进入工频电源运行状态。此方式与方式0的不同

之处在于，若前一次水泵启动的顺序是1#泵→2#泵，当变频器输出停止时，下一次启动顺序变为2#泵→1#泵。

方式 2：直接方式。当输入信号时变频器启动第一台水泵。当该水泵达到最高频率时，变频器将该水泵切换到工频电源运行状态，变频器启动下一台水泵变频运行。停止运行时，先停止最先启动的水泵。

如果变频器仅仅承担软启动的任务，不作调速运行，则在变频器带动电动机运转到额定转速后，就要将电动机切换到工频运行状态，变频器可以再去启动其他的电动机。例如，母管制多泵恒压供水系统就是一个典型的例子。当水压过高需要停泵时，为了避免“水锤效应”，也不允许突然切断水泵电源，而要求逐渐降低水泵转速缓慢停车。这时就需要将电动机再切换到变频器驱动方式，实现减速停车。这样就不可避免地要进行工频电源和变频器之间的相互切换操作，以满足生产工艺的要求和达到节能的目的。

（1）切换控制方式

在交流变频调速场合，在许多情况下为了实现节能、软启动、维修，或者由一台变频器控制多台电机（一控多）时，需要实现变频器和工频电源之间的切换控制。常用的切换控制方式有下列几种。

① 冷切换。冷切换为在变频器停电时进行切换，等切换完成后再开机运行。也就是说，当电动机停止运行时，将电动机的驱动电源由变频器切换到工频电源，或者由工频电源切换到变频器。这种方式最为简单，只要增设两个适当容量的断路器或接触器即可，切换过程可以手动控制也可由PLC控制。

② 热切换。热切换为在变频器运行中进行的带电切换，又可分为硬切换和软切换。

硬切换是指电动机在切换时要瞬时停电，再由变频器切换到工频电源，或者由工频电源切换到变频器。此种切换方式难免会产生电流冲击，一般只用于功率较小的低压变频驱动系统。当在变频器的控制下，电动机的转速达到额定值，变频器输出电压的频率与电网频率（50Hz）一致时，将电动机从变频器驱动切换到工频电源驱动。由于

电动机容量比电网容量小很多，切换过程对电网的影响可忽略。但是必须防止切换时电网电压对变频器中功率器件的冲击，以免造成变频器过电流跳闸或开关器件损坏。

软切换也叫同步切换，是真正的不停电平稳切换。当电动机功率较大（一般在100kW以上），尤其是高压变频器切换时，切换过程不仅要求变频器输出的电压和频率与电网一致，而且两者的相位也必须相同。如果相位差较大，会造成对电网和变频器双方的冲击，不仅达不到软启动的效果，还会影响电网上其他设备的正常工作并损坏变频器。最严重的情况出现在变频器输出电压与电网电压的相位差为180°时，电动机的反电动势将与电网电压叠加，造成很大的电压冲击和过电流。

（2）硬切换的危害及改进方法

① 由变频器向工频电源切换。变频器拖动电动机进行软启动，逐渐升速，当变频器输出频率达到50Hz、电压达到额定电压、电动机的转速也已达到额定转速时，快速将电动机从变频器中切出，再立即投入工频电源运行状态。通常在切换前必须保证变频器的输出电压与电网电压同相序，最好进行电压的幅值、频率及相位跟踪，使其与电网尽量保持一致，否则将会引起严重的后果。另外，为了避免变频器突然甩负荷而使功率器件承受过大的电流、电压冲击而损坏，在将电动机从变频器上切离之前，应先封锁变频器的输出。

当电动机断开电源后，由于定子开路，定子绕组中储存的磁场能量要经过较长的时间才能衰减完，而转子是短路的，转子电流将按一定的时间常数衰减。因转子还在旋转，转子电流产生的磁通就会在定子绕组中感应出电动势（反电动势）。感应电动势的频率和相位是随着转子转速的变化而变化的。当转子电流尚未衰减到零时，若合上工频电源，会因为电源电压与定子储能电动势和转子感应电动势存在的相位差而产生冲击电流。若合闸时电源电压与感应电动势的相位差刚好为180°时，将会产生比启动电流还要大的冲击电流，这会影响到电网的安全运行及电动机的寿命。因此，电动机在断开电源后，应该等转子电流充分衰减后再合上电源。转子电流衰减的时间视电动机容量

的大小及其所带负荷的大小而异，一般为1～3s。

由电动机反电动势引起的过电流与电动机启动时因为转子堵转（s ＝ 1）所产生的堵转电流是不同的，所以，在切换时会面临两个问题：一是要避开反电动势引起的冲击电流；二是要利用电动机的转速，以减小合闸冲击电流。因此，应当选择一个最为合适的时间合闸，才能使切换引起的冲击电流最小，并非要等转子完全停止后再合闸，因为此时的电流即为全压静止启动电流。

由此可见，硬切换一定会引起冲击电流，只是其值大小不同而异，不可能做到平稳切换。为了减小硬切换时引起的冲击电流，当变频器的输出频率已经达到50Hz时，可在变频器及电动机参数许可的范围内，继续加速到55Hz左右，再将电动机从变频器上切出，电动机进行自由停车运行。同时转子电流逐渐衰减，经过1～3s，转子电流基本上已衰减为零，且转速也已下降到额定转速附近，这时再将电动机投入工频电源运行状态，将会有较小的冲击电流。

② 由工频电源向变频器切换。在变频器运行中将电动机由工频电源运行方式向变频器运行方式切换，这无疑是对变频器做一次破坏性的试验，过大的冲击电流将使变频器跳闸或损坏。如果电动机拖动的负载不允许突然停车的话，或须由定速运行转为调速运行时，可以这样操作：先将电动机由工频电源上切除，自由停车运行，延时 1～3s，避开反电动势的影响，在封锁输出的情况下将电动机接到变频器上，变频器跟踪电动机转速并以跟踪频率启动运行，冲击将会很小。

（3）同步切换（软切换）

同步切换就是在不停电的情况下利用锁相环技术，使变频器输出电压的频率、幅值和相位均保持与电网电压一致，然后可进行变频器与电网之间的相互平稳切换。

① 由变频器向电网切换。同步切换的过程是：变频器拖动电动机进行软启动，平稳升频到接近50Hz，进入锁相环路的捕捉范围，之后在锁相环路的作用下，锁定变频器输出电压的频率、幅值、相序和相位与工频电源一致，将电动机与工频电源之间的接触器吸合，工频电源和变频器同时向电动机供电，然后封锁变频器的输出，并将电动机

从变频器输出回路中切出，电动机即平稳地切换到工频电源运行状态。

由于进行了同步操作，变频器的输出参数与工频电源的参数保持一致，在接入工频电源时对变频器和电动机都不会有什么影响。为了使变频器能安全切除，在变频器和电网同时对电动机供电期间，应该逐渐减小变频器的负荷，可以稍稍降低变频器的输出电压幅值，然后封锁变频器的输出，再进行切换操作。

② 由工频电源向变频器切换。在由工频电源向变频器同步切换之前，变频器先空载加速到 50Hz，启动锁相环路的跟踪技术，经过一段时间的跟踪调整，达到锁定状态后变频器合闸，然后工频电源开关跳闸，电动机即平稳地由工频电源切换到变频器调速运行状态。

为了尽量减小切换过程中对变频器的冲击作用，在锁定状态下变频器合闸之前，应稍稍调低变频器输出电压的幅值，以免合闸时造成对变频器过大的冲击电流。在过渡到由工频电源和变频器同时向电动机供电时，再稍稍调高变频器输出电压的幅值，逐渐将负荷从工频电源向变频器转移，以免在工频电源开关跳闸时对变频器造成过大的冲击。

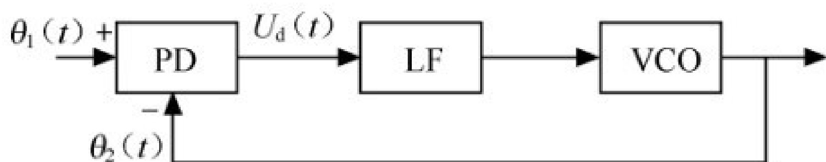


图7-8 锁相环路的基本组成框图

③ 锁相控制。锁相控制就是利用锁相环路（PLL）通过让变频电源的频率和相位自动跟踪工频电源的频率和相位，达到“锁定”状态，从而为同步切换创造条件。锁相环路是一个闭环的相位控制系统，能够自动地跟踪输入信号的频率和相位，使输出信号的频率和相位与输入信号同步，称之为“锁定”。锁相环路主要由鉴相器（PD）、环路滤波器（LF）和压控振荡器（VCO）3个基本部分组成，其构成如图7-8所示。

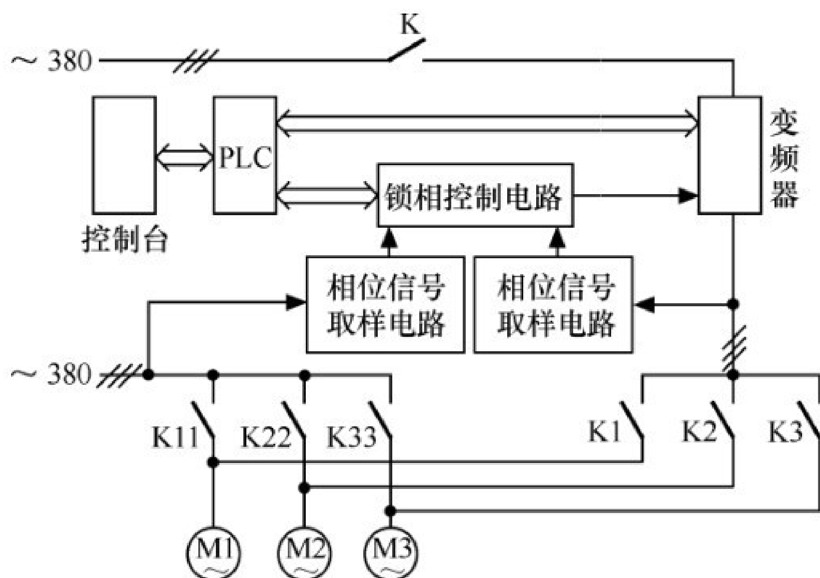


图7-9 同步切换系统框图

图7-9为具有同步切换功能的交流异步电动机循环软启动切换控制装置的组成框图。用一台变频器分时软启动3台异步电动机，每一台电动机软启动以后，切换到工频电网定速运行。变频调速系统由变频器、相位信号取样电路、锁相控制电路、PLC 和切换接触器等组成。相位信号取样电路对工频电源和变频器输出电压进行实行取样、隔离和整形处理。锁相环路由锁相控制电路和变频器组成，锁相控制电路则由鉴相器和环路滤波器组成。

同步切换控制系统以工频电源的电压相位信号θ_1 (t)作为基准信号，变频器输出的电压相位信号θ_2 (t)作为跟踪信号。鉴相器比较两个信号的相位，输出一个正比于两个信号相位差的电压信号u_d (t)，经滤波器滤波后作为变频器的辅助频率给定信号，用以控制变频器输出电压的频率和相位，达到跟踪工频电源频率和相位的目的。当二者的频率相等、相位差稳定在一个较小的数值上时，称为锁定。此时输出一个切换信号，便可以在PLC的控制下安全、平稳地进行变频器和工频电源之间的相互切换。

④ ACS1000型中压变频器是ABB公司采用最新功率开关器件

IGCT（集成门极换流晶闸管）设计生产的新型三电平高效中压变频器，并采用了先进的直接转矩控制（DTC）技术，从而获得了非常出色的转矩特性和速度响应特性。输出功率为315～5000kW，输出电压等级有2.3kV、3.3kV、4.16kV。

ACS1000变频器的另一个突出优点是，为了满足电动机循环软启动及调速运行和定速运行之间的切换，特别设计了变频器与工频电源之间的同步旁路切换功能。旁路切换控制系统有两种型号，即单机旁路和多机旁路，选用多机旁路时最多可控制4台电动机。

（4）小功率变频器的异步切换

图7-10所示的系统为某加工厂中由4台水泵组成的一控四异步电动机切换主电路，4台电动机的功率均为55kW，变频器（VFD）通过接触器K11、K21、K31、K41分别控制4台电动机；同时接触器K12、K22、K32、K42又分别将4台电动机连接至工频电源。变频器可以对4台电动机中的任一台实行软启动，在启动到额定转速后将其切换到工频电源。

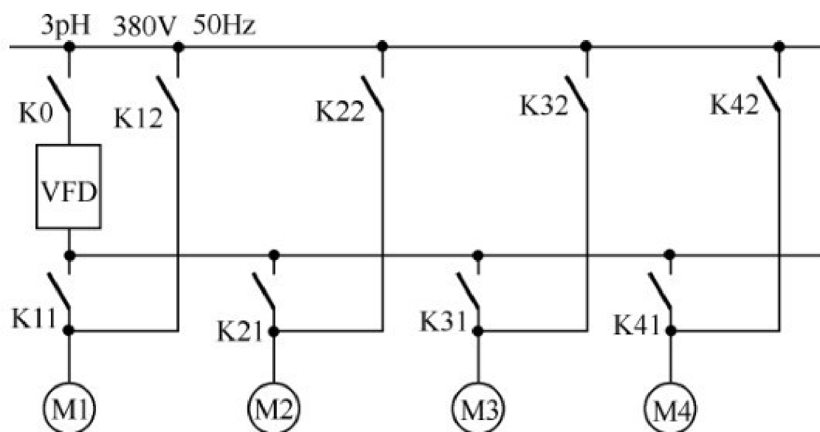


图7-10 一控四异步电动机切换主电路

以电动机M1为例，首先K11闭合，水泵由变频器进行软启动。当电动机到达50Hz同步转速后，K11断开，K12吸合，电动机M1由工频电源供电。以此类推，变频器继续启动其他电动机。如果某台电动机

需要调速，可安排到最后一台启动，不再切换至工频电源供电，而由变频器驱动调速运行。

在系统的切换中，对变频器的保护是可靠运行的关键，系统中采用了硬件和软件双重保护。在硬件连锁中，充分利用了安川变频器的多功能输入、输出接点。在启动过程中，首先判别变频器是否有零功率信号，以此保证电动机必须由零功率开始升速。为减小电流冲击，必须在达到 50Hz 时才可切换至电网。在 K11 断开前，必须首先保证变频器没有输出，K11断开后才能闭合K12，K11和K12不可同时闭合。控制过程由PLC执行，并通过PLC程序实现软件连锁。

（5）高压异步电动机变频启动的切换

在图7-11中，两台变频器（6000V、1800kW）互为热备用，对8台水泵电动机进行软启动和调速。由于是高压大功率电动机，所以变频器在低速下的启动转矩和达到额定转速后的工频同步切换技术是关键，具体启动和切换过程如下。

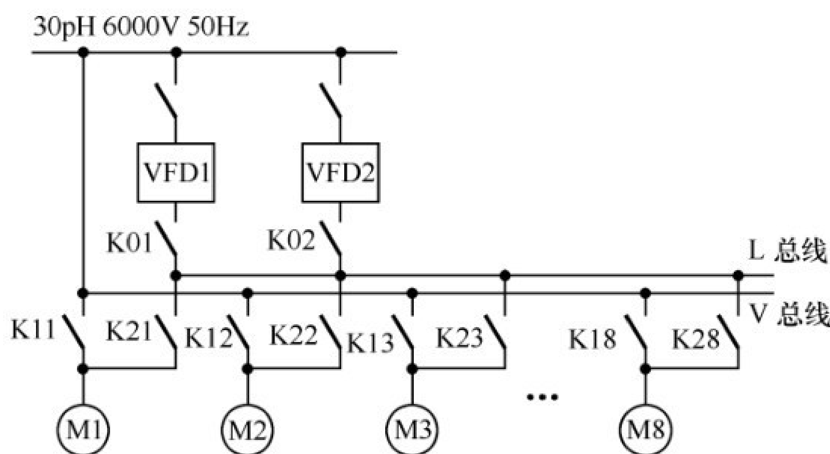


图7-11 高压异步电动机变频启动的切换

① 选择用来启动的变频器，如变频器VFD1。

② 选择应启动的电动机（如电动机 M1），选择过程可由手动或自动方式选择，由上位机将选中的信号发送至变频器VFD1。

③ 变频器VFD1准备运行。

④ VFD1闭合其连至L总线的接触器K01。

⑤ VFD1闭合被选电动机M1的启动接触器K21（此时主线接触器K11必须处在常开的位置）。

⑥ VFD1开始以低频（2Hz）低幅值交流电流驱动电动机，由于电动机静止，相对于同步转速下的50Hz，电动机具有普通异步电动机的4%滑差下的特性。

⑦ 由于异步电动机的转矩和电流均正比于滑差，VFD1将在预设的加速度下增大输出电压。当电动机转矩超过负载的静态阻力矩后，电动机开始旋转。

⑧ 电动机在VFD1的控制下线性加速，直至达到额定转速、额定电压和频率（50Hz）。加速时，电动机的压频比 U/F ＝ 6600/50 ＝ 132。这使电动机保持在规定的定子磁通密度下运行，避免电动机电磁饱和，维持超过100%的启动转矩。

⑨ 当电动机频率和电压达到100%额定值后不再改变，此时电动机的驱动转矩与负载力矩达到平衡，而连接在V总线上的电动机的电压频率与电源（V总线）的频率相等，但相位不一定相同，电动机进入同步控制阶段。

⑩ 接触器 K11 两端的电压是电动机电压和工频电源电压。当电动机电压与工频电源电压同相时，端电压取两者的差值，为最小值；当电动机电压与工频电源电压反相时，端电压取两者之和，为最大值。电动机电压的相位与工频电源电压相位的关系可以通过电动机转矩的微小变化进行瞬间调整，前移或后移。电动机转矩的瞬时减小造成电动机速度的减小，因为此时电动机驱动转矩小于负载阻力矩，反之亦然。

⑪ 在电动机电压的相位和工频电源电压的相位相同的瞬间，主线接触器 K11 的端电压为最小值，此时控制该接触器闭合，然后使启动接触器K21断开，于是电动机由VFD1驱动变为由工频电源驱动。

⑫ VFD1停止输出，频率降到零，准备启动下一台电动机。

3．PID的调节功能

由压力传感器反馈的水压信号（4～20mA或±5V）直接送入PLC

的模/数口，设定给定压力值、PID参数值，通过PLC计算实现系统的自动控制。通过对系统参数在实际运行中的调整，可使系统控制响应趋于完整。

时代 TVF2000 系列变频器在变频恒压供水系统中有多种应用方式，现以内置 PID 调节器和外置PID调节器组成的两种一控一供水系统简要介绍时代TVF2000系列变频器的简易电路和设置步骤。

（1）外置PID调节器的变频恒压供水系统

外置PID调节器的变频恒压供水系统的简易电路如图7-12所示，其功能设置步骤如下。

① 根据用户对控制端子的用法确定9902。

② 根据电动机参数设置9908，9909。

③ 根据现场需要，在不引起振荡的前提下将参数2202、2203设定得尽可能小。

④ 将参数2606设定为1。

⑤ 根据外置PID提供的最大输入信号来确定1302的最大频率。

（2）内置PID调节器的变频恒压供水系统

时代TVF2000系列变频器具有内置PID调节功能。采用时代TVF2000系列变频器的内置PID调节器，不仅使其综合成本降低，并因其理想的睡眠功能可提高节能效率。内置PID调节器的变频恒压供水系统的简易电路如图7-13所示，其功能设置步骤如下。

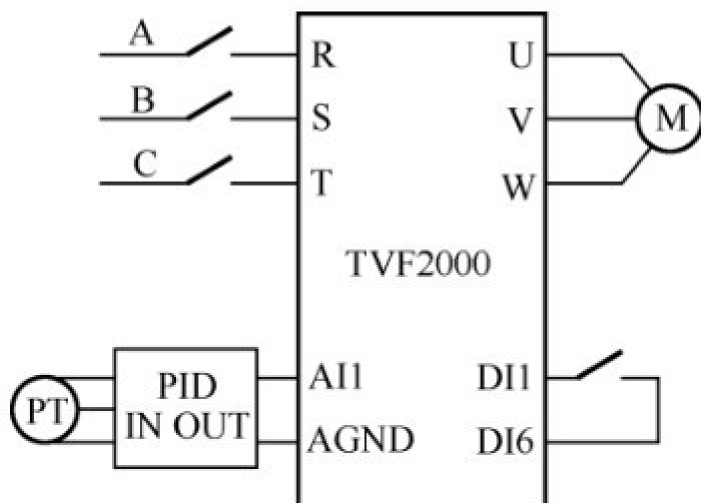


图7-12 外置PID调节器的恒压供水系统的简易电路图

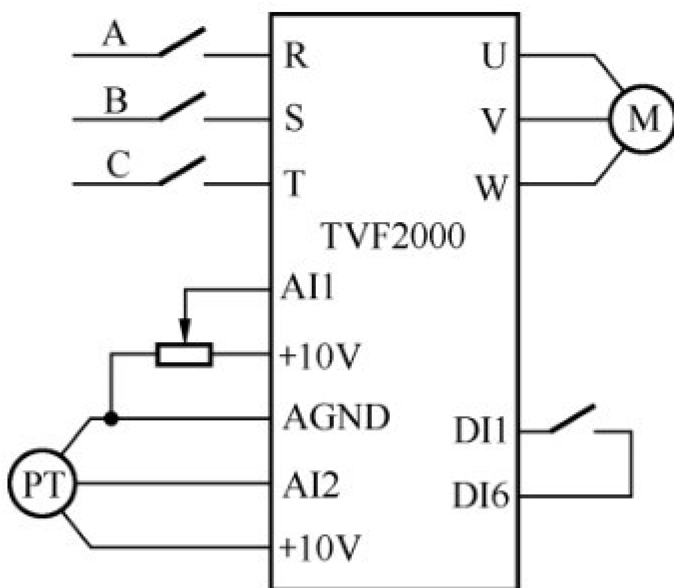


图7-13 内置PID调节器的恒压供水系统的简易电路图

① 将9902设置为3（PID应用宏）。

② 根据电动机参数设置9908、9909。

③ 根据现场需要，在不引起振荡的前提下将参数2202、2203设

定得尽可能小。

④ 利用远传压力表（或压力变送器）实际压力反馈值显示在0119中的值确定1107、1108的数值。

⑤ 利用AI1给定电位器或键盘给定参数0112的显示值确定给定值。

⑥ 将2606参数设为1。

⑦ 根据需要确定4001、4002的值。

⑧ 根据现场情况调试4014、4015、4013，直至实现睡眠唤醒功能为止。

系统运行时经常会遇到用户用水量较小或不用水的情况，为了节能，该系统专门设置了可以使水泵暂停工作的“休眠”功能。当变频器频率输出低于其下限时，变频器停止工作， 2#、3#泵不工作 （处于休眠状态）。当水压继续升高时，将停止1#泵的运行。当水压下降到一定值时，将先启动变频器使2#泵或3#泵运行。当频率到达一定值后，将启动1#泵，调节2#泵（或3#泵）的运行工况。

“休眠值”、“休眠确认时间”用参数4014、4015、4013设置，若变频器的输出频率低于休眠值，当休眠确认时间t_d 小于休眠时间t_n ，即$t_d < t_n$ 时，变频器继续工作；当$t_d > t_n$ 时变频器将进入休眠状态。“唤醒值”由供水压力下限启动，当供水压力低于下限值时由PLC发出指令唤醒变频器工作。经测试发现该系统的“休眠值”为10Hz，“休眠确认时间”为 20s，“唤醒值”为70%。

7.5 LG变频器在空压机供气系统中的应用

1．空压机供气系统

空压机在工业生产中有着广泛应用，在各种行业中它担负着为工厂中的所有气动元件，包括各种气动阀门提供气源的职责，因此，它运行状况的好坏直接影响工厂的生产工艺。空压机的种类很多，但其

供气控制方式几乎都采用加、卸载控制方式。由于空压机不能排除在满负荷状态下长时间运行的可能性，所以，只能按最大需要来确定电动机的容量，设计余量一般偏大。以工频启动设备时的冲击大，电动机轴承的磨损大，所以，设备维护量大。虽然传统空压机都是降压启动，但启动时的电流仍然很大，会影响电网的稳定性及其他用电设备的运行安全，而且大多数是连续运行。由于一般空压机的拖动电动机本身不能调速，因此就不能直接通过压力或流量的变动来实现降速调节输出功率的匹配，导致在用气量少的时候电动机仍然要空载运行，电能浪费巨大。

传统空压机的经常卸载和加载导致整个气网压力经常变化，不能保持恒定的工作压力和延长空压机的使用寿命。采用传统的空压机调节方式（如调节阀门或调节卸载等），即使在需要流量较小的情况下，由于电动机转速不变，电动机功率的下降幅度比较小。

（1）加载时的电能消耗

在传统空压机的加载状态下，在压力达到最小值后，原控制方式决定其压力会继续上升直到最大压力值。在加压过程中，一定要向外界释放更多的热量，从而导致电能损失。另一方面，压力高于最大压力值的气体在进入气动元件前，其压力需要经过减压阀减压。这一过程同样是一个耗能过程。

（2）卸载时电能的消耗

在空载状态下当压力达到最大压力值时，传统空压机通过如下方法来降压卸载：关闭进气阀使电动机处于空转状态，同时将分离罐中多余的压缩空气通过放空阀放空。这种调节方法要造成很大的能量浪费。据测算，空压机卸载时的能耗占空压机满载运行时的10%～25%，这还是在卸载时间所占比例不大的情况下。换而言之，空压机20%左右的时间处于空载状态，在做无用功。很明显，传统空压机在加、卸载供气控制方式下，其电动机存在很大的节能空间。

传统空压机供气系统的压力控制是上下限控制，首先根据生产设备的最低压力要求，设定空压机输出压力的下限，也就是空压机开始加载的压力；然后在最低压力上加1Pa左右，作为空压机输出压力的

上限，即开始卸载的压力。空压机的输出工作压力将在上、下限之间波动。空压机的功率消耗和输出压力成正比。输出的压力越高，消耗的功率越大，从输出压力的下限到上限的1Pa的压差将多消耗总功率的7%～10%。在传统供气空压机系统中，如果有多台空压机同时运行，每台空压机的输出压力都将随着管网的压力在上、下限之间波动，所以每台空压机都多消耗 7%～10%的额定功率。在传统空压机供气系统中运行参数的设定不同也会造成空压机用电量的不同，必须根据用气工况进行设定，才能达到最经济的运行效果。

用调整电动机转速的方法可以调整供气量，由于空压机基本上属于恒转矩负载，用变频调速的方法调整供气量能使电动机的输出功率基本上与转速（供气量）成正比关系，达到很好的节电效果。

与传统空压机配套的排气压力调节装置多数为关闭进气管式压力调节器，其工作原理是：当储气罐（风包）内空气压力超过设定的压力时，空压机进气管上的碟阀自动关闭，空压机进入空转卸荷状态；当储气罐内的空气压力低于设定压力时，空压机进气管上的碟阀自动开启，空压机又进入到满载工作状态。空压机的排气量和压力在运转中也不是不变的，常因工况变化导致用气量变化，所以，空压机工作时总是在重复满载 - 卸荷工作方式。满载时的工作电流接近电动机的额定电流，卸荷时的空转电流为 30%～50%的电动机额定电流，这部分电流不是做有用功，而是机械在额定转速下的空转损耗。这种机械式调节装置虽然也能起到压力调节作用，但是压力调节精度低，波动范围大。空压机总是在额定转速下工作，机械磨损大，耗电多。根据空气压缩理论，空压机的轴功率、排气量和轴转速符合下列关系。

$$N = M_r \times n/9553 \quad (7\text{-}7)$$

$$V_{d1} = K \times V_{h1} \times n_2 \quad (7\text{-}8)$$

式中：N为空压机的轴功率（kW）；M_r 为空压机输入的平均轴转矩（N·m）；n为空压机的轴转速（r/min）；V_{d1} 为在转速n_2 下的排气量（m^3/min）；K为与汽缸容积、压力、温度和泄漏有关的系数；V_{h1} 为汽缸容积（m^3）；n_2 为调节后的空压机转速（r/min）。

根据上述理论分析，在空压机的汽缸容积不能改变的条件下，只

有通过调节空压机的转速才能改变排气量；空压机是恒转矩负载，空压机的轴功率与转速成正比变化。在空压机的总排气量大于总用气量时，通过降低空压机转速调节供风压力，是达到空压机经济运行的有效方法。在选用变极电动机、改变皮带轮传动比、串极调速等调速方法中，变频调速与其他调速方法相比，具有无级调速、容易实现自动控制、不用改变设备结构和安装量小的特点。

在空压机多机应用中，传统的控制压力或出气量的方法是使多台空压机全部运行，并通过加载和卸载来调节，最终达到压力或出气量的控制要求。显然，所有的空压机都是在全速运行，所以，耗电严重且控制频繁，尤其是在加一台太多但减一台又太少的情况下更是如此。

因此，对空压机多机进行变频控制是非常理想的，如图7-14所示。如果空气压力要求不高或出气量不多，只需要一台空压机工作即可，这时变频空压机便通过调节电动机转速来达到要求。当变频空压机电动机的频率达到 50Hz 时，若其出气量仍无法满足要求，便可要求加入一台工频运行的空压机（如空压机1），变频空压机则通过速度调节来满足要求。当变频空压机电动机的频率再次达到 50Hz 而仍无法满足要求时，则需要加入两台工频运行的空压机（如空压机1和2），变频空压机则通过速度调节来满足出气量或压力要求。反之，当压力或出气量太富余时，则要求减去相应的工频运行的空压机。

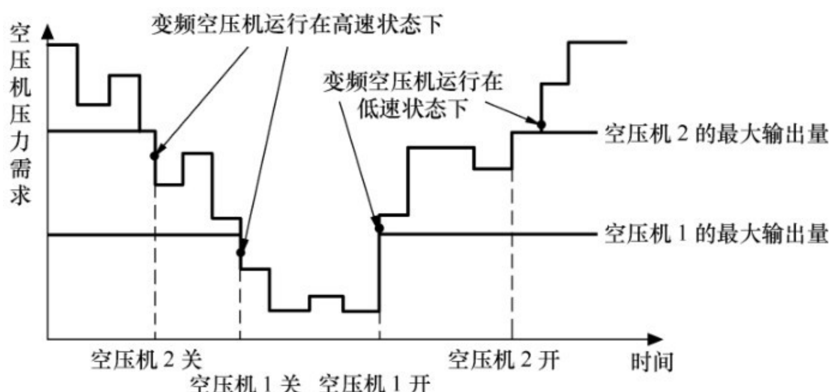


图7-14 变频调速控制与传统空压机控制的功率耗用对比

综上所述，若能采用变频调速技术，当流量需要量减少时，就可降低电动机的转速，从而较大幅度减小电动机的运行功率，实现节能的目的。采用具有矢量控制功能的LG变频器，可使电动机在低速时也能提供满足负载需要的转矩。同时，LG 变频器的自动节能模式可使电动机在满足负载转矩要求的条件下以最小电流运行，达到更好的节电效果。采用恒压供气变频控制系统所带来的效果如下。

① 出气口释放阀全部关闭，取消用出气口释放阀调节供气量的方式，以避免由此导致的电能浪费。以变频器调整电动机的转速来调整气体流量，使电动机输出的功率与流量需求基本上成正比关系，始终使电动机高效率工作，以达到明显的节电效果。例如，当用气量是额定供气量的50%时，节电率可达40%以上。

② 利用变频器的节能模式，可使电动机在轻载时以最高效率运行，减少不必要的电能损耗。

③ 根据严格的EMS标准，高效的PWM变频器使用高速低耗的IGBT，降低谐波失真和电动机的电能损失。

④ 可使电动机启动、加载时的电流平缓上升，没有任何冲击；可使电动机实现软停止，有利于延长设备的使用寿命。

⑤ 采用变频控制系统后，可以实时监测供气管路中气体的压力，使供气管路中气体的压力保持恒定，提高生产效率和产品质量。

2．配置选型

空压机是工厂里的重要设备，必须保证每天24h能够正常运转。若空压机的台数为2用2备（1用1备为1组），则功率为130kW。为了使控制系统和空压机组的可靠性都得到有效保证，并使原机组的性能和节电率得到大幅度的提高，可选用LG变频器。LG变频器的主要性能特点如下。

① 采用转矩计算软件控制，能保证在整个频率范围内实现精确的转矩控制。

② 采用高速微处理器大大提高响应速度。

③ 当线电压下降时，有自动电压调节（AVR）功能，可维持高启动转矩。

④ 它的自动调节方式使变频器与电动机的参数调整自动进行。

⑤ 可根据电动机负载和制动要求自动计算最佳的加/减速时间。

⑥ 运行在节能模式下可自动选择参数，使电动机在满足负载转矩要求的条件下自动节能，以最小电流运行，达到节能目的。

系统采用压力闭环调节方式，在原来的压力罐上加装一个压力传感器，将压力信号转换成0～5V的电信号并送到变频器内部的PID调节器。调节器对信号与压力设定值进行比较运算后输出控制信号，变频器根据该信号输出频率，改变电动机的转速，调节供气压力，保持压力的恒定，使空压机始终处于节电运行状态。

空压机恒压变频控制系统是由变频器、压力传感器、PLC控制单元、软件控制单元等组成。此控制系统根据压力传感器检测到的空压机出口的压力值，通过PLC调节计算和通过变频器调整空压机电动机的工作状态，在精确地控制空压机出口压力的同时，延长空压机系统的使用寿命，并大幅度地节约电能。当变频器及 PLC 发生故障时，自动切换到原降压启动柜工频电源运行状态，以保证空压机的正常工作。采用两个选择开关和两个交流接触器，可对两台空压机中的任意一台进行变频控制，同时保留原有的降压启动功能，当变频故障时可切换至工频运行。空压机恒压控制系统的组成如图7-15所示，一组空压机的主电路如图7-16所示。

空压机属于恒转矩负载，应选用通用型变频器，空压机选用变频器驱动的主要目的是按需要的用风量合理调节供气压力的设定值，实现稳压节能运行。按配套电动机额定功率选用相同容量的恒转矩变频器，变频器要有内置PID调节功能和4～20mA或0～10V模拟信号接口。

变频器从低频启动空压机，由于启动加速时间可以调整，从而减小启动时对空压机的电气部件和机械部件所造成的冲击，提高系统的可靠性，使空压机的使用寿命延长。此外，变频控制能够减小机组启动时的电流波动，这一波动电流会影响电网和其他设备的用电。变频器能够有效地将启动电流的峰值减小到最低程度。

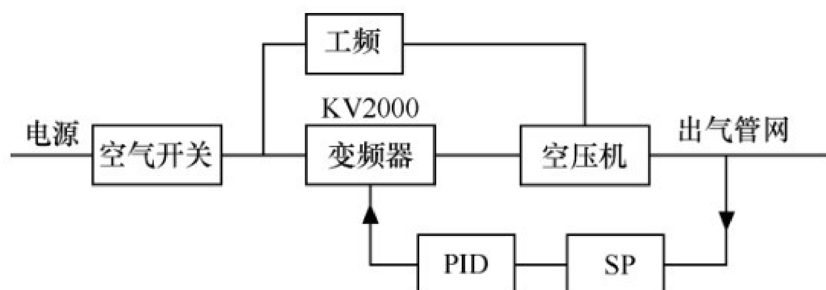


图7-15 空压机恒压控制系统组成框图

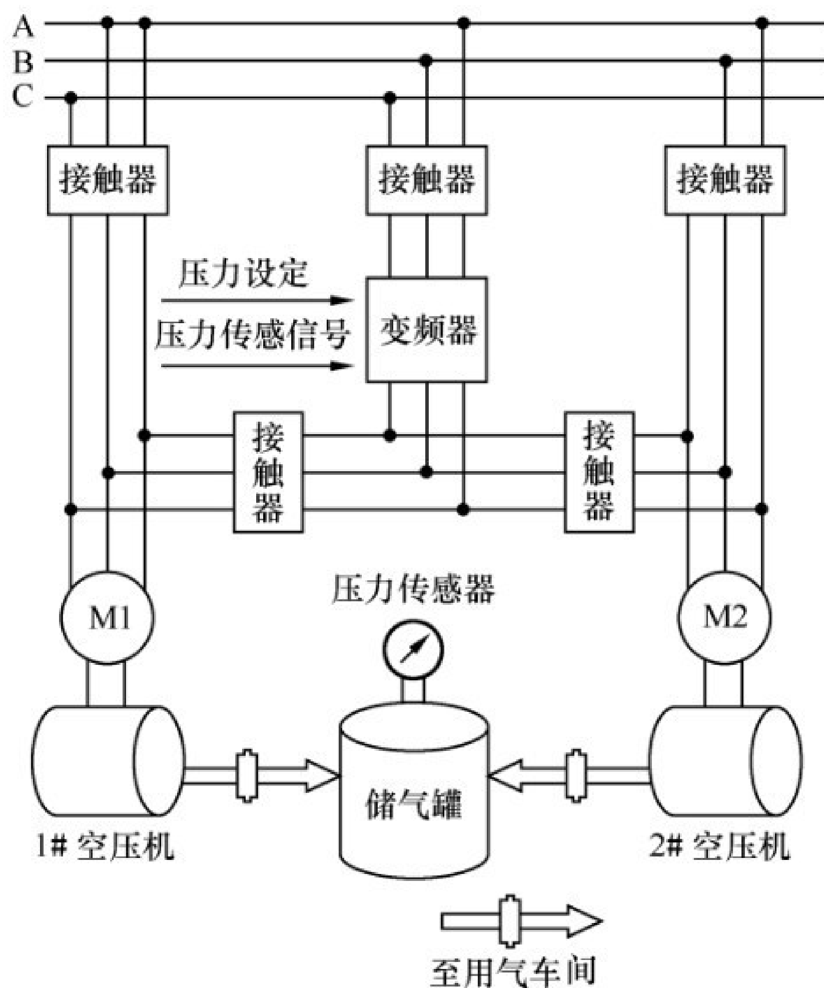


图7-16 一组空压机主电路图

采用132kW主电动机的空压机，其额定电流是250A，在空压机工频运行中在加载时的电流为240A，卸载时的运行电流为150A。变频器运行时的加载电流为200A，卸载时的电流为26A，节电率可达25%～35%。另外，变频器还具有一系列保护功能，例如过载、过电流、过电压、缺相等保护功能。

3．系统设计中应注意的问题

① 空压机是大转动惯量负载，很容易引起U/F控制方式的变频器在启动时出现过电流保护动作，因此，应选用具有大启动转矩的无速度传感器矢量变频器，保证既能实现恒压供气的连续性，又保证设备可靠稳定地运行。

② 空压机不允许长时间在低频下运行，若空压机的转速过低，一方面将使空压机的工作稳定性变差，另一方面也使缸体的润滑条件变差，加快磨损。电动机经过变频器变频后转速降低，其风扇的散热效果也降低，所以工作的下限频率应不低于20Hz。

③ 为了有效滤除变频器输出电流中的高次谐波分量，减小因高次谐波引起的电磁干扰，应选用交流输出电抗器。这样还可以减小电动机运行时的噪声和温升，提高电动机的稳定性。

④ 在满足生产工艺的要求下，压力设定得越低越好，因为空压机的排气压力越高，所需的电动机轴功率越大，电动机耗电量也就越多。

7.6 艾默生变频器在石油抽油机中的应用

抽油机属于往复运动特性负载，交流异步电动机驱动柱塞泵中的活塞往复运动，将渗透到柱塞中的原油提取出来。通常电动机恒速运行，上、下冲程时间基本相等。如上、下冲程时间相等，其柱塞中液体的饱和度较小，上升时间过长，漏失时间大，将严重影响产量，增加电耗；另一方面，由于抽油机的配重不平衡，往复运动过程中的势

能将以再生反电动势的形式冲击电网，污染电网，不利于电网的安全运行。基于以上原因，采用变频调速技术调节抽油机的冲程次数，改变上、下冲程时间。在每个冲程中，在柱塞下降的过程中，可减缓下降速度以便提高渗透时间，使柱塞管道中渗满液体，在柱塞上升过程中提高上升速度，减小漏失时间，增加出油量，提高效率。

1．系统构成

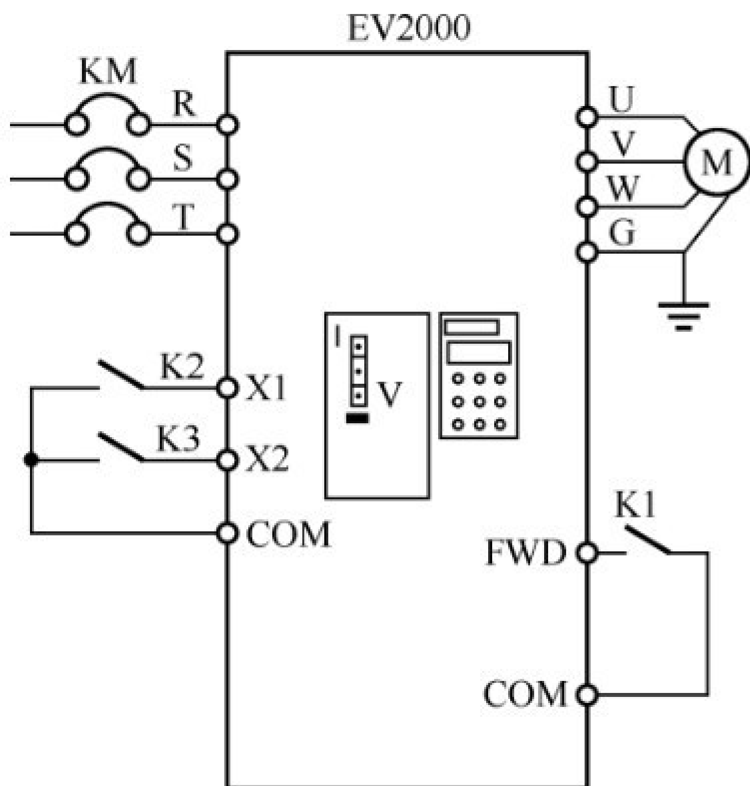


图7-17 变频器外部接线图

设计的抽油机变频调速系统采用艾默生公司的 EV2000 系列变频器，外部接线如图 7-17所示（其中 K2、K3 为接近开关）。通过设定可获得抽油机上、下冲次数和不同的上升、下降时间，若抽油机的上升运行频率为40Hz，下降运行频率为35Hz，则变频器参数设定为：F119 ＝ 1， F120 ＝ 2，F058 ＝ 40Hz，F059 ＝ 35Hz。

设定后将K2、K3接近开关安置在抽油机配重块的相关位置，当抽油机开始上升运动时，接近开关K2动作，变频器输出频率为40Hz，电动机转速相对较快。当抽油机开始下降运动时，接近开关K3动作，此时接近开关K2停止，变频器输出频率为35Hz，电动机转速相对减慢。抽油机上、下冲次数可通过调节上升、下降运行频率来调节。

由于要求变频器在检修或损坏时抽油机可自动切换到工频电源运行，设置有工频/变频切换电路及故障显示电路。对于故障显示与变频/工频切换，可利用艾默生公司的EV2000系列变频器的T_a 、T_b 、T_c 端子实现。当变频器正常运行时，T_a 与T_b 之间为常闭，T_a 与T_c 之间为常开；当变频器故障停机时，T_a 与T_b 之间为常开，T_a 与T_c 之间为常闭。

变频/工频切换电路如图7-18所示。当变频器正常工作时，指示灯L1亮；当变频器故障时，延时一定时间T后，自动切换到工频电源，此时指示灯L2亮，表示变频器故障，电动机以工频运行。对于不许自动切换的场合，可在控制回路中延时继电器 K4 的线圈回路中串一转换开关，实现自动、手动切换功能选择。

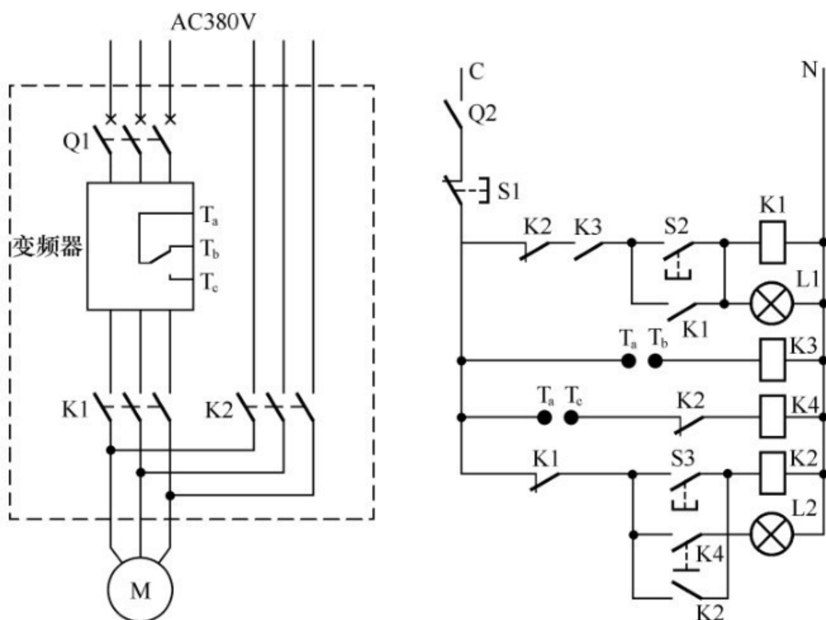


图7-18 变频/工频切换电路

2．加/减速参数的设定

（1）加/速时间的设定

电动机从零速升高到工作速度n_g 所需的加速时间t_{qg} 按下式计算。

$$t_{qg} = GD^2 n_g / [375(M_D - M_j)] \quad (7\text{-}9)$$

式中：M_D 为电动机的加速转矩，计算时取值为（1.2～1.3）M_e ；M_e 为电动机的额定转矩；M_j 为负载的静态阻转矩。

将t_{qg} 折算到从零速升到额定转速n_{eq} 的时间t_{qe} 为

$$t_{qe} = n_{ed} \times t_{qg} / n_g \quad (7\text{-}10)$$

变频器的软启动时间应设定得比计算的t_{qe} 大些，如果设定得比t_{qe} 小，往往会因为过电流而停止运行。

（2）减速时间的设定

电动机从工作转速n_g 降至零速的减速时间可按下式计算。

$$t_{zg} = GD^2 n_g / [375(M_z + M_j)] \quad (7\text{-}11)$$

式中：M_z 为电动机的制动转矩，计算时取（0.2～0.3）M_e。

将t_{zg}折算到从额定转速n_{ed}降至零速的时间t_{ze}为

$$t_{ze}=n_{ed}\times t_{zg}/n_g \quad (7\text{-}12)$$

变频器的软制动时间设定要比t_{ze}大些，否则易出现直流制动过电压保护动作。

可通过调节变频器加、减速时间改变变频器运行频率的变化速度，因一个冲程时间较短，可将加速时间设为2s，减速时间设为2s，即F009 ＝ 2，F010 ＝ 2。

另外，由于抽油机属位能性负载，尤其当配重不平衡时，在抽油机工作的一个冲程周期中，电动机将处于再生制动工作状态（发电状态）。电动机由于位能或惯性，其转速会超过同步转速，再生能量通过与变频器逆变桥开关器件（IGBT）并联的续流二极管的整流作用反馈到直流母线上。由于交－直－交变频器的直流母线采用普通二极管整流桥供电，不能向电网回馈电能，所以，反馈到直流母线的再生能量只能对滤波电容器充电而使直流母线电压升高，称作“泵升电压”。直流母线电压过高时将会对滤波电容器和功率开关器件构成威胁，为了保护电容器及功率开关器件的安全，所以，变频器都设置了“OUD”保护（直流母线电压高保护停机功能）。

① 一种办法是增大变频器直流母线上滤波电容器的容量，将再生能量储存起来，等电动状态时再释放给电动机做功。这种方法对节能有利，但是电容器的储能作用是有限的。譬如，某抽油机电动机的平均功率以10kW计算，回馈功率以25%计算为2.5kW，在一个冲程周期中发电状态为2～3s的话，则回馈能量E_d ＝6000J。若采用15kW的变频器，其直流母线滤波电容的容量为2200μF，正常工作时直流母线电压（U_s）小于600V，“OUD”保护电压（U_{sm}）为800V，那么$E_s=(CU_{sm}^2-CU_s^2)/2=2200\times10^{-6}\times(640000-360000)/2=308$J，比起6000J的回馈能量来小得多了，因此，在大容量或者负载惯量大的系统中，不可能只靠滤波电容器来限制泵升电压。

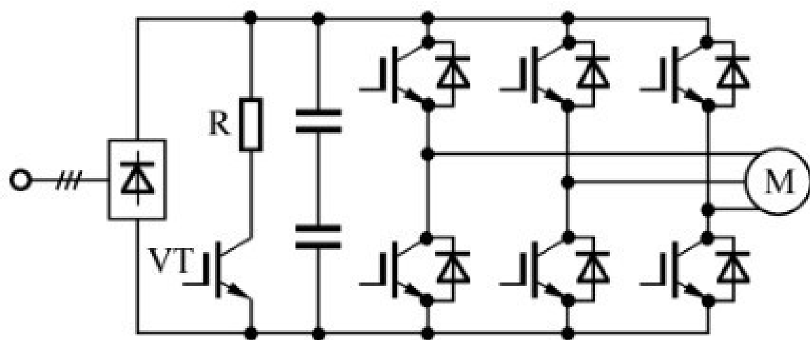


图7-19 泵升电压限制电路

② 第二种办法是采用“放”的办法，可以采用由分流电阻器和开关管组成的泵升电压限制电路，如图7-19所示。

也就是将回馈能量消耗在电阻上，这是一种耗能的方法，对节能不利，尤其是在大容量或者大惯量拖动系统中能量的损失较大。

③ 对于地处北方寒冷地区的抽油机，为了在冬季增加原油的流动性和防止结蜡，而对井口回油管进行电加热，如加装中频电加热装置。这时变频器与中频电加热装置可共用整流电路及直流母线，这样可将电动机回馈到直流母线上的再生能量用于中频加热器，同时又防止了直流母线电压的泵升。

④ 对于同一井场上有多口油井的场所，可以采用共用直流母线系统方案，即若干台抽油机的变频器可共用一台整流器，将其直流母线连接在一起，利用各变频器的回馈能量不可能在同时发生的原理，将某一台变频器的回馈能量作为其他变频器的动力。这样既节约了能量，又防止了泵升电压的产生。采用公用直流母线的多逆变器系统主电路如图7-20所示。

⑤ 对于更大功率的系统，为了回馈再生能量，提高效率，可以采用能量回馈装置，将再生能量回馈给电网。当然这样一来，系统就更复杂，投资也就更高了。所谓的能量回馈装置，其实就是一台有源逆变器。按采用的功率开关器件的不同又可以分为晶闸管（SCR）有源逆变器及绝缘栅双极型晶体管（IGBT）逆变器两种，它们又各有其特点和要求。

如图7-21所示，三相桥式可控整流电路用于有源逆变时，就成为三相桥式有源逆变电路，只是电路内电能的流向与整流时相反，直流母线输出电功率，电网则吸收电功率。为了防止过电流，应满足$U_d \approx U_m$的条件，U_d取决于电动机的回馈能量的大小，而U_m则可通过超前角β(β = π − α)来进行调节。由于逆变时U_m为负值，故β的调节范围应为π/2～0。考虑电感性负载及变压器漏抗的影响，最小逆变角$\beta_{min} \geq \pi/6$。

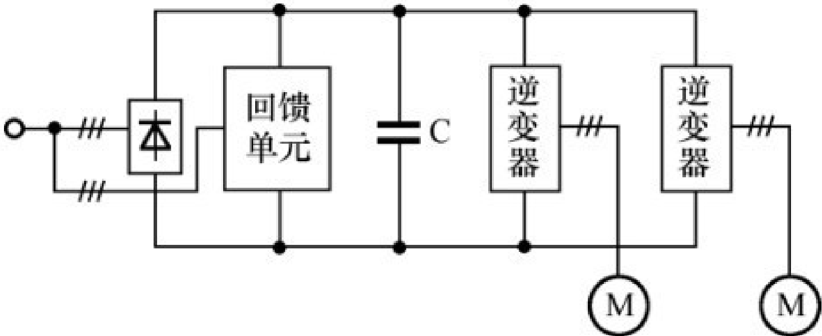


图7-20 采用公用直流母线的多逆变器系统的主电路

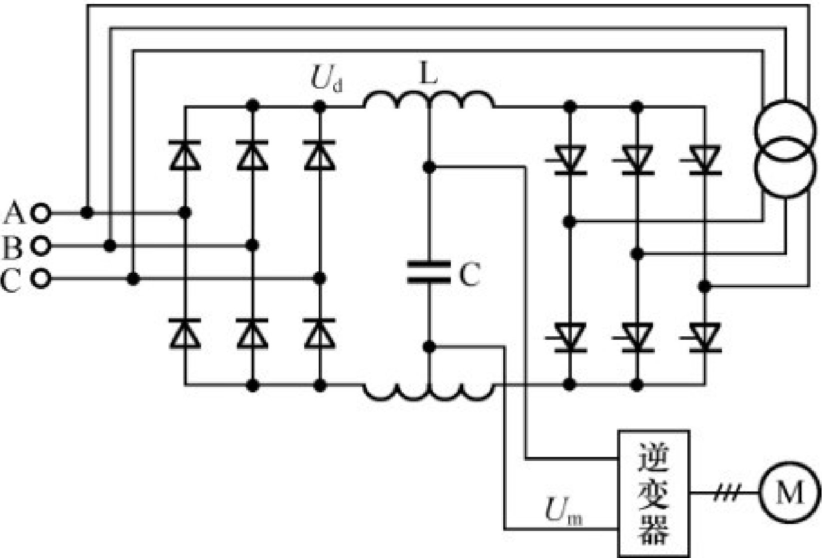


图7-21 采用晶闸管有源逆变器的再生能量回馈系统的主电路

从上述的分析可见，逆变的条件有两个：一是要有直流电压存在，其极性须和晶闸管的导通方向一致，其值应稍大于变流器直流侧的平均电压U_m；二是要求晶闸管的触发角$\alpha > \pi/2$，使U_m为负值，两者必须同时具备才能实现有源逆变。晶闸管有源逆变器的关键是交直流侧的电压匹配，否则也无法实现有源逆变。由于：

$$U_m = -2.34U_2\cos\beta(\text{或} = -1.35U_{2l}\cos\beta) \quad (7\text{-}13)$$

若逆变器交流侧直接接到380V交流电源上，且取最小超前角$\beta min = \pi/6$，则U_{mmax}为480V左右，而变频器直流母线电压在正常工作时为540V左右，会形成能量在变频器整流器—逆变器—电网之间的反复循环，且会使直流母线电压降低，减小了变频器的输出功率。而系统要求满足的条件是：当回馈能量较小时，能量回馈装置不工作，让能量储存在滤波电容器中；当直流母线电压达到某一设定值时（如$U_d > 670V$），能量回馈装置才开始工作，将多余的能量回馈给电网。根据式（7-13）反算过去，逆变变压器副边的线电压应大于540V，相电压应大于300V，才能实现电压匹配。

IGBT 有源逆变器虽然其主电路结构与变频器中的无源逆变器基本相同，但是其功能和控制方法是大不相同的。变频器中的无源逆变器的负载是三相交流电动机，其输出频率、电压、相位都可以由变频器随意控制；而IGBT有源逆变器的输出端接的是交流电网，是有源负载，其输出频率、相位和电压都必须与电网一致，否则会造成短路而烧毁逆变器。所以，在IGBT有源逆变器的控制中增加了鉴相器和锁相环控制环节。采用可四象限运行的变频器如图7-22所示。

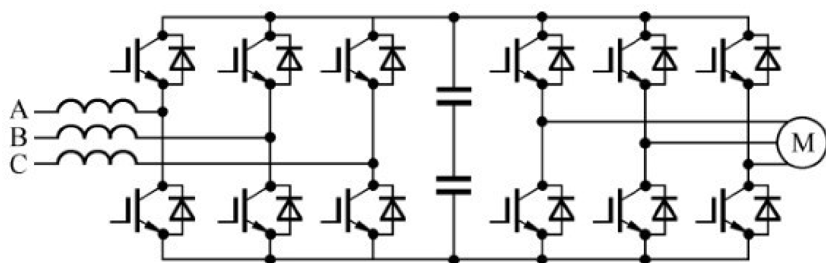


图7-22 可四象限运行的变频器主电路

7.7 ACC600变频器在水电站门式起重机中的应用

水电站门式起重机（简称门机）在水电工程上统称为闸门启闭机，分为坝顶门机与尾水门机两种。门式起重机启动时应具有大的启动转矩，通常超过 150%的额定转矩。若考虑电源波动及超载实验要求等因素，至少应在启动加速过程中提供200%的额定转矩。

主起升机构是坝顶门式起重机的核心部分，它的性能好坏直接影响着各个闸门准确平稳地开启与闭合，对水电站的安全运行和河流的防汛汇洪都起着重要的作用。传统的门机主起升机构采用绕线转子电动机串电阻启动、制动，这种系统无法实现低速长期运行，既无法准确停车又无法实现自动抓梁与闸门的快速、准确连接，空钩时不能升速运行。为了解决这些问题，在门机起升机构上采用变频调速控制系统。

1．变频器的选择

能满足门式起重机起升机构运行的变频器应具有四象限运行、大启动转矩、低速满转矩、较短的大转矩上升时间和机械制动器顺序控制等功能。鉴于直接转矩控制型变频器优越的技术性能，选用ACC600起重机专用变频器。ACC600变频器采用先进的控制方式和硬件解决方法，具有转矩记忆、功率优化（轻负载升速）、限幅开关监控、机械制动器顺序控制、转矩验证、危险速度监视、主从控制等功能，并设有特殊起重机应用程序。特殊起重机应用程序结合直接转矩控制技术（DTC），保证了起重机运行中的精确控制。

直接转矩控制与矢量控制不同，它不是通过控制电流、磁链等参量来间接控制转矩，而是把转矩直接作为被控量来控制。转矩控制是控制定子磁链，在本质上并不需要转速信息；在控制上对除定子电阻外的所有电动机参数变化来说，稳健性良好；能方便地实现无速度传感器闭环控制。这种系统可以实现很快的转矩响应速度和很高的速度、转矩控制精度。

采用ACC600变频器的直接转矩控制方式可达到5ms以内的转矩响应速度，在带速度传感器时的静态速度精度达±0.01%，在不带速度传感器的情况下即使受到输入电压变化或负载突变的影响，也可达到±0.5%～±0.1%的速度控制精度。在100%满负荷转矩下，不带速度传感器的动态速度精度一般是±0.4%，带速度传感器的动态速度精度一般是±0.1%。ACC600变频器即使在零转速下，没有速度反馈也能提供电动机满转矩，并能够提供可控且平稳的200%的最大启动转矩。门式起重机起升机构所需的电动机轴输出功率P_M为

$$P_M=\frac{W\times v}{6120\eta} \tag{7-14}$$

式中：W为起升机构额定提升负荷的质量（kg）；v为起升机构的额定速度（m/min）；η为起升机构的机械效率。

变频器的容量必须大于负载所需求的输出，即

$$P_0\geqslant\frac{kP_M}{\eta\cos\varphi} \tag{7-15}$$

式中：k为过载系数，取1.33；P_M 为负载要求的电动机轴输出功率（kW）；η为电动机效率；cosφ为电动机的功率因数。

起升机构要求的启动转矩为 1.3～1.6 倍的额定转矩，考虑到需有 125%的超载要求，其最大转矩需为1.6～2倍的额定转矩，以确保其安全使用。对于驱动等额功率电动机的变频器来说，可提供长达60s、150%额定转矩的过载能力，因此，过载系数k ＝2/1.5≈1.33。

起升机构的平均启动转矩通常为额定转矩的1.3～1.6倍，考虑到电源电压波动及需要通过125%超载试验要求等因素，其最大转矩必须是负载转矩的1.8～2.0倍，以确保安全使用。由于各变频器的过载能力各不相同，且在高原地区还应考虑海拔高度对电动机及变频器的影响，变频器的容量应按下式进行计算。

$$P_{CN} \geqslant \frac{1.8\sim 2}{\eta_m \cos\varphi k_2} \cdot \frac{G_t n_N}{6.12\eta} = \frac{1.8\sim 2}{\eta_m \cos\varphi k_2} \cdot P_S \tag{7-16}$$

式中：η为电动机的效率；G_t 为总起升质量（t）；n_N 为额定起升速度（m/min）；cosφ为电动机的功率因数；P_{CN} 为变频器的容量（kV·A）；η_m 为机械效率；P_S 为起升机构所需的净功率；k_2 为变频器的过载系数。

变频器的额定电流验证应按下式进行计算。

$$I_{CN} \geqslant I_M \frac{(1.8\sim 2)k_1}{k_2} \tag{7-17}$$

式中：I_{CN} 为变频器的额定输出电流（A）；I_M 为电动机的额定电流（A）；k_1 为余量系数，取1.1。

2．制动单元及制动电阻的选择

惯性系统在减速或起升机构下降时，电动机转速高于变频器输出频率所对应的同步转速，这时电动机处于发电反馈运行状态，变频器直流回路的电容因充电而使电压升高。当电压超过一定值，应通过制动单元接通制动电阻，将过剩的电能转化为热能消耗到制动电阻上。

起重机械在作下降运动时，位能负载将拖动电动机反转，这时传动机构参与制动。制动时的最大制动转矩为

$$T_B = \frac{\sum GD^2(n_1 - n_2)}{375t_s} + T_L \cdot \eta^2 \tag{7-18}$$

最大制动功率为

$$P_{B(max)} = \frac{(T_B - 0.2T_M)}{9550} \cdot n_1 \tag{7-19}$$

式中：ΣGD^2 为拖动系统的飞轮力矩之和（包括负载、电动机等）（N·m）；t_s 为制动时间（s）；T_L 为负载转矩（N·m）；n_1 为起始速度（r/min）；n_2 为制动后的速度（r/min）。

制动电阻的阻值按下式计算：

$$R=U^2/P_B \qquad (7\text{-}20)$$

式中：U为直流回路的电压。

3．系统调试

（1）通电前的检查

在变频器外围接线检查中应注意以下几个方面。

① 电源线应与R、S、T端子连接，绝对不能连至U、V、W端子上。制动单元与变频器连接时，注意其正负极性应与变频器直流母线的正负极性相一致；制动电阻与制动单元连接时，不能存在短路、接地现象。

② 检查端子、连接器的螺钉是否紧固，端子之间、外露导电部分有无短路、接地现象。所有接地端子必须良好接地。

③ 检查主从连接、扩展DI模块与变频器之间的光纤连接是否正确，制动单元内部的电压等级跳线是否正确。

④ 检查起升、大小车机构的机械制动器是否安全，制动器接线是否正确。

（2）变频器系统功能参数的设置

ACC600 系列变频器在出厂时所有的功能码都已设置好，但是，因变频调速系统的要求与工厂设定值不尽相同，所以，一些重要的功能参数需要重新设定。

① 启动数据（参数组99）。参数99.2（应用宏），M/FCTRL（在应用上增加主/从总线通信功能）；参数99.4（电动机控制模式），DTC（直接转矩控制）；参数99.5～99.9（电动机常规铭牌参数），按照电动机的铭牌参数输入。

② 数字输入（参数组10）。参数10.1～10.13（数字输入接口预置参数），按照变频器外围接口的定义进行设置。

③ 限幅（参数组20）。参数20.1（运行范围最小速度），－750r/min；参数20.2（运行范围最大速度），750r/min；参数20.6（直流过电压控制器参数），OFF（参数设为OFF后，制动斩波器才能投入运行）。

④ 脉冲编码器（参数组50）。参数50.1（脉冲编码器每转脉冲数），1024；参数50.3（编码器故障），FAULT（编码器发生故障后变频器显示故障并停机）。

⑤ 提升机（参数组64）。参数64.2（连续变速选择），True；参数64.3（高速等级1），99%；参数64.10（控制类型选择），STEPRADIO；参数64.16（分段给定等级4），98%。

⑥ 逻辑管理（参数组65）。参数65.2（电动机停止后保持电动机磁场为ON的时间），1s；参数65.3（ON脉冲延时时间），1s。

⑦ 转矩验证（参数组66）。参数66.1（转矩验证选择），True。

⑧ 机械制动器控制（参数组67）。参数67.3（制动内部确认选择），主机设为False，从机设为True。

⑨ 功率优化（参数组68）。参数68.1（功率优化选择），True（功率优化有效）；参数68.2（基速），50%；参数 68.3（自动调节选择），True（自动调节有效）；参数 68.4（向上的总惯量），10kg·m² ；参数68.5（向下的总惯量），10kg·m² 。

⑩ 给定管理（参数组 69）。参数 69.1（对应 100%给定设置电动机速度），1500r/min；参数69.9（启动转矩选择），AUTOTQMEM（自动转矩记忆）。

⑪ 主从控制（参数组 72）。参数 72.1（主从传动运行模式），MASTER（起升机构主机变频器设置）或 FOLLOWER（起升机构从机变频器设置）；参数 72.2（从机的模式选择）， SPEED（从机处于速度控制模式）。

⑫ 可选模块（参数组 98）。参数 98.1（脉冲编码器模块选择），YES（表示安装了脉冲编码器模块）；参数98.5（扩展模块选择），主机YES（表示安装了扩展DI模块），从机NO （表示没有安装扩展DI模块）。

（3）试运行

功能参数设定完后，就可进行系统试运行。应先在每台变频器操作盘上进行速度给定，手动启动变频器，让起升电动机空载运行几分

钟。注意观察电动机的运行方向是否正确，转速是否平稳，显示数据是否正确，温升是否正常，加减速是否平滑等；其次还要注意观察在下降过程中制动单元和制动电阻的工作是否正常。

手动运行无误后，可由PLC控制进行整机联调。在整机联调中，关键是在变频器启动与停止时，对整个系统在PLC控制下进行调整和优化，以提高系统的协调工作性能。

7.8 西门子SIMOVERTMV中压变频器在鼓风机上的应用

1．风机的工作特性

大部分国内厂家生产的大功率风机采用液力耦合器调速，虽然也能降低电能消耗，但节能效果不佳；如果采用中压变频器调速，通过网络通信及时判断工艺生产状态，进而改变风机转速来调节输出风量。这样不但方便有效，还可节省大量的电能。

从风机的工作特性来看，调速控制与风门控制调节风量比较，有着更好的节能效果。风机的特性曲线如图7-23所示。在图7-23中，曲线1为风机在恒速（n_1 ）下的风压—风量（H— Q）特性曲线，曲线2 为管网风阻特性曲线（风门全开）。设工作点为 A；输出风量Q_1为100%，此时风机轴功率N_1与Q_1 H_1的乘积即和AH_1 OQ_1所包围的面积成正比。

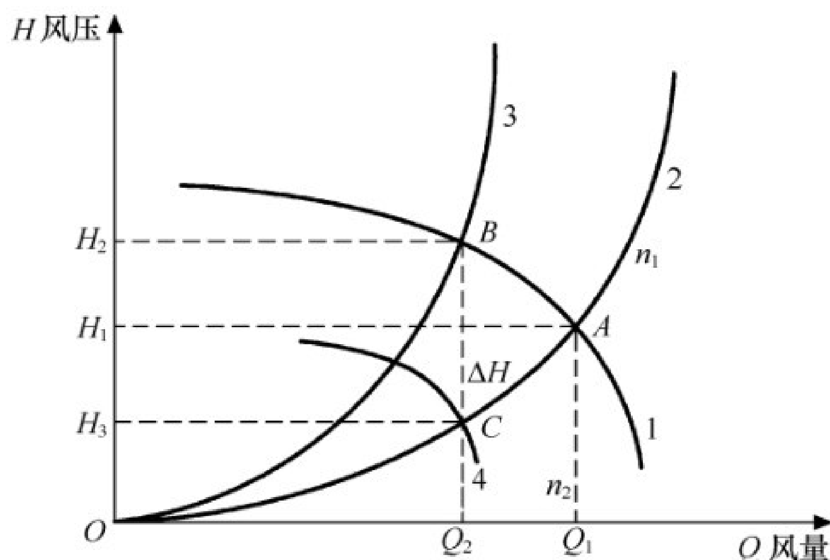


图7-23 风机的特性曲线

根据工艺要求，风量需从Q_1 降至Q_2 ，有两种控制方法，其中一是风门控制，风机转速不变，调节风门（开度减小），即增大管网阻力，使管网阻力特性变为曲线3，系统工作点由A移到B。由图7-23可见，风压反而增大，轴功率N_2 与面积BH_2OQ_2 成正比，减小得不多。

另一种是调速控制，风机转速由n_1 降到n_2 ，根据风机参数的比例定律，画出在转速n_2 下的风压—风量（H—Q）特性曲线，如曲线4，工作点由原来的A点移到C点。可见，在相同风量Q_2 的情况下，风压H_3 大幅度降低，功率N_3 与面积CH_3OQ_2 成正比，显著减小，节省的功率损耗ΔN与$Q_2\Delta H$的乘积成正比，节能效果是十分明显的。

由流体力学可知，风量与转速的一次方成正比，风压与转速的平方成正比，轴功率与转速的3次方成正比。当风量减小，风机转速下降时，其消耗的功率降低很多。例如，风量下降到80%，转速也下降到80%，轴功率将下降到额定功率的51.2%。如果风量下降到50%，其轴功率将下降到额定功率的 12.5%。考虑到附加控制装置效率的影响，这个节电效果也是很可观的。

2．风机中压变频系统

对于高压大容量异步电动机，在不更换原有电动机形式的前提下，进行变频调速有两种方式。

① 采用高—高式直接变频调速系统，即高压电源电压直接经变频器变频变压后供电给高压异步电动机。目前，绝大多数直接高压变频器由于考虑到减小谐波对电网的污染及抑制电动机共模电压，仍保留有输入变压器。这种变频器性能优良，但价格高。

② 采用“高—低—高”式高压变频调速系统，即将高压电源电压经降压变压器降至低压变频器允许的电压，再经低压变频器变频变压后，由升压变压器升至高压，然后供电给高压电动机。这种变频方式有许多优点，是一种经济实用的高压变频调速系统。

西门子SIMOVERTMV中压变频器具有以下显著特点。

① SIMOVERTMV系列变频器采用传统的交—直—交变频器结构，整流部分采用12脉冲二极管整流器，逆变部分采用三电平PWM逆变器。该系列变频器采用传统的电压型变频器结构，通过采用耐压较高的HV-IGBT模块，使得串联器件数减少为12个。随着器件数量的减少，成本降低，方案变得简洁，有助于提高可靠性。该变频器具有良好的输入/输出波形；满足IEEE-519标准，效率高，使用简单，便于维护；采用高性能的矢量控制技术，提供低速大转矩输出和良好的动态特性，同时具备较强的过载能力。

② SIMOVERTMV 系列变频器的逆变部分采用三电平方式，其输出侧需要配置输出滤波器，以获得具有低谐波分量的基本正弦电流特性以及较佳的转矩特性，同时电动机的损耗可以降到最低。另外，HV-IGBT 的优点是每次通断电的瞬间电流和电压可以完全控制，du/dt可以调节，从而减轻对电动机绝缘的损坏。

③ 系统提供多种控制模式，包括线性U/F控制、平方U/F控制、可编程多点设定U/F控制、磁通电流控制、无测速传感器矢量控制和闭环矢量控制等。通过速度反馈选板可构成带反馈的矢量控制闭环，从而可大大提高风机系统的控制精度和稳定性。

④ 当变频器工作于限流状态时，不受输出短路的影响，这就避免

了当发生电动机或电缆短路等故障时造成变频器功率器件的损坏。

⑤ 高性能及成熟的全数字化 SIMADYND 控制系统可用作开环控制和闭环控制平台，它具有灵活的标准软件、速度极快的全数字化 32 位信号处理器、便于操控和观测的用户界面、本地诊断程序以及通过调制解调器的远程诊断功能。

⑥ SIMOVERTMV模块化设计不仅使系统结构十分紧凑，而且也增强了系统的维修便利性，因而提高了系统的可利用率。在设备运行的情况下风扇在30min内可完成更换。不必使用特殊工具，只需5min就可完成IGBT功率模块的更换工作。光纤触发装置UEL采用可插式结构。SIMADYND控制板以及供选用的调制解调器接口卡也都是插入式的。模块错误信息的时序记忆功能有助于迅速排除整个传动系统的故障，例如电网欠电压或过电压、变压器监测、风扇故障、电动机监测、IGBT 监测、接地故障监测、辅助电压监测等。

⑦ 该变频器具有强大的通信功能，在风机系统中生产工艺状态识别可通过PLC实现。由于采用了现场总线技术，该变频器与上位 PLC 系统之间只需通过 Profibus 通信模块和一根通信电缆实现连接，减少了操作台及控制台之间大量的电缆连接及因此带来的诸多问题。

3．系统调试

系统调试的具体步骤如下。

① 按说明书的要求不带电动机对变频器进行检查，对各项功能和数据进行设置和更改。

② 带上电动机进行带负载调试。风机在启动过程中，其阻力矩随着转速的升高而迅速增大。当启动完毕后，阻力矩达（0.6～0.9）M_e，而在风机启动初期，由于滑动轴承中的油膜尚未形成，呈现的静摩擦阻力矩比动摩擦阻力矩大，并且在运行环境中的气体残污黏结也会影响到电动机的启动转矩。由于风机是单吸双支撑结构，启动时轴向力较大，在短时间内风机很难快速启动，有时过电流30%的现象可持续10s以上，因此，时常造成变频器过电流保护性停机。针对这一状况，进行了以下调整。

- 延长启动时间，减小启动负荷。启动时管路内的空气一般为冷

态（冷态空气密度比热态空气密度要大），达到相同出口风量时，势必会多做功，系统负荷加重。为减少风量，可将风机前调节阀的开度调到允许范围内的最小程度（约10°），在整个启动过程中风机入口风量可控制在20000m^3 /h以内。

- 由于风机启动时工况比较特殊，在此期间会发生短时电流超过额定电流 1.3 倍的情况（额定电流为175A，峰值电流为210A）。变频器对短时过电流的保持时间可进行调节，最大值为30s。经过反复实验调整为12s，此时完全满足了需要。

③ 由于高压电网时常产生波动，使得变频器经常出现35kV过电压故障，需进行内部复位。可将变频器输入电压允许范围由原来的±5%改为±10%。

④ 由于主PLC系统选用的是AB公司生产的产品，而变频器选用的是西门子公司生产的产品，在调试初期经常出现通信连接不稳定、数据丢失等问题。这就使得变频器必须直接从操作台上取风机的高/低速开关量信号来实现对风机的高/低速转换控制。由于这样操作相当于手动控制，给生产带来了很大的不便。针对这一问题，对 SST-PFB-CLX 通信模块进行了版本升级，通过对该模块的重新配置，建立了以SST-PFB-CLX模块为主站、变频器为从站的通信模式。这样相应地就可在原来的控制程序中添加通信程序，PLC 对采集到的信号进行内部处理后向变频器发出运转指令，经过变频器处理后，实现风机的高/低速调速过程，从而完成西门子变频器与ABP LC之间的通信，实现风机随工艺过程自动进行高/低速转换。

⑤ 风机“喘振”问题的处理。当驼峰形H—Q性能曲线在不稳定区内时，就往往会出现喘振现象。这种现象是最恶劣、最危险的工况，会对风机造成严重损坏。喘振最明显的特征是进风口出现可怕的低沉的吼叫声，电动机电流大幅度地变化，出风口的压力和流量都大幅度地波动，其振动频率越高危害越大。产生喘振的原因是：变频调速使转速正好调在喘振区；进风阀因机械故障打不开，这时就会出现喘振。避免喘振的方法主要有以下几种。

- 在风机选型时尽量避免采用具有驼峰形Q — H性能曲线的风

机，而采用Q — H性能曲线平直向下倾斜的风机。

• 把转速适当调高或调低，使Q — H性能曲线上的临界点K向右上方或左下方移动，从而缩小不稳定段，也就是要避开喘振频率段。但调低转速时，一定要保证风压足够大才有效。

• 如果系统中所需的流量小于Q_k，可装设再循环管，使风机的出风口流量始终大于Q_k。

• 风阀与风机之间一定要有可靠的连锁，当进风阀打不开时，回风阀要自动打开排空，并及时修复阀门，保证风机机组的正常运行。

⑥ 在调试过程中，发现采用不同的测量仪表测出的电流数据有很大的差别。其主要原因是：对于电压型PWM变频器，主电路采用三相全波二极管整流电路和电容平滑电路，其输入电流为脉冲电流而不是正弦波电流。所以，测量仪表应选择在非正弦波下能反映其有效值的仪表，如电磁式或电动式电流表。通常电磁式电流表的频率响应范围在 1kHz 以下，而电动式电流表的频率响应范围在10kHz左右，比前者高出一个数量级。由于电磁式电流表结构简单，价格低，同时它对50Hz基波的17次以下谐波都能响应，所以用它来测量变频器的输入电流波形，从测量精度来讲已能满足工程的测量要求。电磁式电流表可供选择的型号有T19-A、T24-A、T51-A等，电动式电流表有D26-A等。钳形电流表可选用MG20、MG21（可测非正弦波的有效值）。

另外，变频器输入电流三相之间略有不平衡，在输出电压低、负载电流小时更为明显，这是由于开环电压型逆变器固有的不稳定性所造成的。在额定工频情况下，输出频率与电网频率一致产生拍频，也会造成三相输出电流不平衡，所以测量时应取三相的平均值。

7.9 施耐德Altivar38变频器在鼓风机上的应用

三段连续式燃气加热炉采用两台同型号离心式风机送风管并联运行，通过调节风门挡板控制送风量，满足煤压、炉温对送风量的要

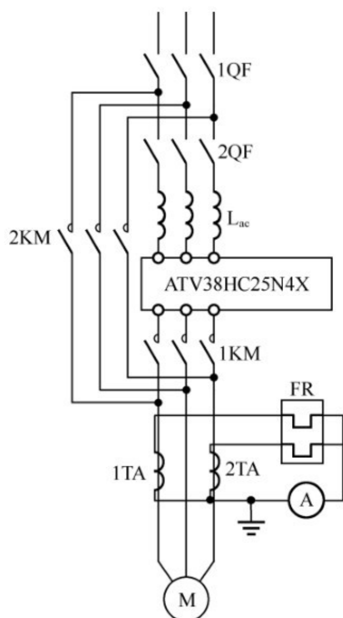
求。生产实际所要求的送风量大概为一台半风机的总送风量，采用两台风机电动机工频运行，调节一台风机的风门挡板控制风量，挡板上消耗了大量功率，造成大量电能损耗。因此，对其中一台风机进行变频调速改造，另一台仍采用常规电气控制方式。

1．系统主电路

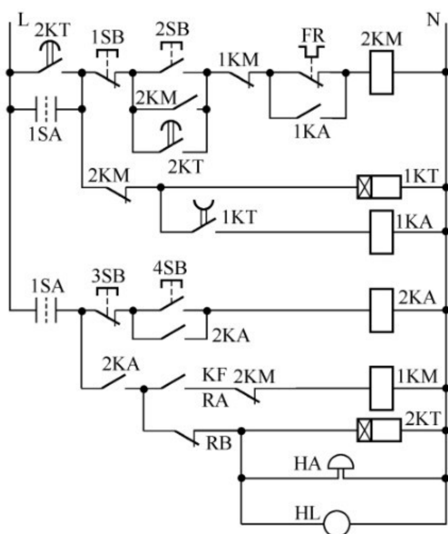
系统主电路如图7-24（a）所示，图中1QF、2QF为低压断路器，1KM、2KM为交流接触器，L_{ac} 为三相交流电抗器，1TA、2TA 为电流互感器，FR 为热继电器，变频器选用施耐德公司Altivar38系列中的ATV38HC25N4X（额定功率为220kW，额定电压为380/460V，额定电流为407A）。

（1）工频切换控制

系统控制电路如图 7-24（b）所示，1KT、2KT 为时间继电器，1KA、2KA 为中间继电器，KF为变频器内部的故障继电器。在变频器正常运行时，接点RA闭合，变频器发生故障时，接点RB闭合。控制电路的工作过程如下。



（a）主电路



（b）控制电路

图7-24 系统电路图

将工频运行转换开关1SA转至“工”位，按启动按钮2SB，可实现接触器2KM吸合，电动机工频启动并运行。用电流互感器1TA、2TA与热继电器FR配合可对电动机进行过载保护，时间继电器1KT与中间继电器1KA配合可避免电动机启动时因启动电流过大引起热继电器误动作而导致接触器2KM断开。时间继电器1KT失电延时断开时间整定为略大于电动机启动时间。

将变频运行转换开关1SA转至“变”位，按启动按钮4SB，中间继电器2KA得电并自锁，同时变频器内部的故障继电器的KF触点RA接通，接触器1KM得电，将电动机接至变频器，将变频器正转转换开关2SA及本地/远程控制转换开关3SA（见图7-25）接通，按本地/远程控制所在的挡位给定变频器输出频率，启动变频器运行，电动机启动并运行至变频器输出频率（转速）。

当变频器发生故障时，其故障继电器KF动作，触点RA断开，1KM断电，电动机脱离变频器。同时，触点RB接通，蜂鸣器HA鸣叫，指示灯HL点亮，发出声光报警。经时间继电器2KT延时后，接触器2KM得电，电动机切换至工频运行。当操作人员得到报警信号后，将转换开关1SA切换至工频运行位置，声光报警解除。

（2）变频器控制端子的接线

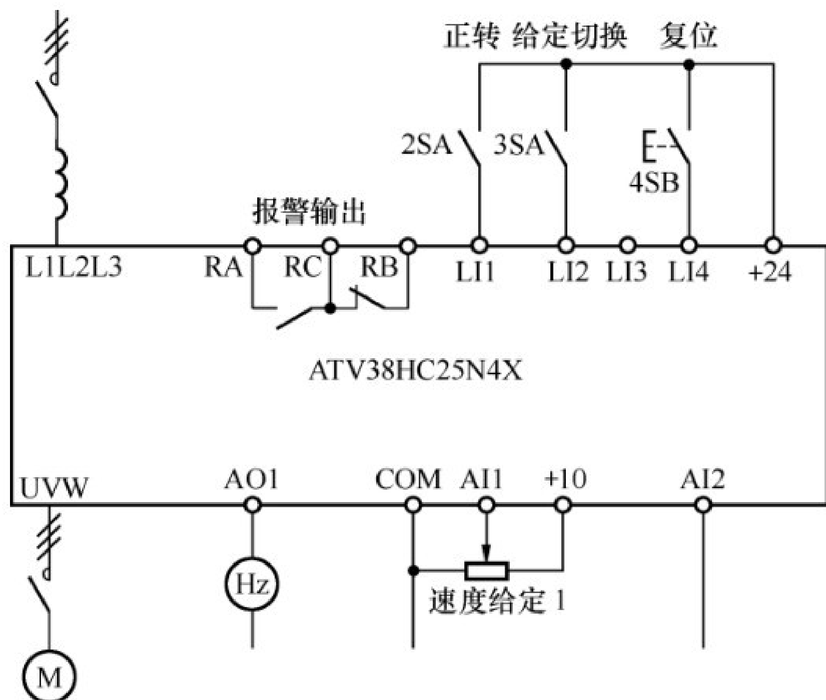


图7-25 变频器控制端接线图

施耐德 Altivar38 系列变频器的 I/O 控制端子可根据控制要求通过设定参数进行自由配置。变频器的控制端子分为4部分，如图7-25所示。逻辑输入端包括LI1、LI2、LI3、LI4、＋24等，其中LI1设定为正转，LI2设定为给定切换（由其选择速度给定1和速度给定2），LI3未定义，LI4设定为故障复位。模拟输入端包括AI1、AI2、COM、＋10等。其中，AI1为速度给定1，由本地电位器给定输入；AI2为速度给定2，由4～20mA直流电流远程输入。模拟输出端包括AO1、COM等。其中，AO1为电流输出端，可外接频率表及去手动操作器显示频率。逻辑输出端包括内部故障继电器RA、运行继电器RB等的输出触点，其触点可接至相应的控制电路。

2．变频器的功能设定

施耐德Altivar38系列变频器的功能码分别在DISPLAY（显示）菜单、ADJUST（调整）菜单、DRIVE（传动）菜单、CONTROL（控

制）菜单、I/O（输入/输出）菜单、FAULT（故障）菜单、FILES（文件）菜单等 7 个菜单中，通过对每个菜单中的各个功能代码进行设定即可完成相应的功能设定。变频器的功能设定如下。

① 内外控指定选择LCC = NO（外控，非变频器操作盘控制）。

② 端子排控制的配置TCC = 2W（2线控制，LI1自动设为正转）。

③ 逻辑输入端设定LI2 = RFC（可给定切换），LI4＝RST（故障复位）。

④ 模拟输入端设定AI2 = FR2（速度给定2）。

⑤ 模拟输出端设定AO1 = OFR（电动机实际运行频率）。

⑥ 加速和减速斜坡形状设定RPT = S（S形斜坡）。

⑦ 加/减速斜坡时间设定ACC = 60（s），DEC = 300（s）。

⑧ 模拟输入端上信号的最小值和最大值设定CRL = 4（mA），CRH = 20（mA）。

⑨ 模拟输出端上信号的最小值和最大值设定AOL = 4（mA），AOH = 20（mA）。

⑩ 最低/最高频率设定LSP = 0.0（Hz），HSP = 50（Hz）。

此外，还应根据电动机参数相应设定变频器的参数，其他功能设定遵照出厂设定值。当变频器逻辑输入端LI2（给定切换）接通，即转换开关3SA选择远程控制时，模拟输入端AI2的电流输入信号作为速度给定 2，取代模拟输入端 AI1 由电位器取出的电压给定信号 1。电流给定信号由于不受线路压降、接触电阻及其压降、感应噪声等影响，具有较强的抗干扰能力，因此需远程控制电动机转速（频率）时，要向变频器提供一个模拟电流输入信号，同时变频器的实际输出频率（即电动机的转速）也相应在控制室内显示。采用智能手动操作器（型号为 HR-WP-D935-02-12/12-H-A）可实现双 LED 数码同步显示两个模拟量输入、输出值，满足远程控制的要求。

3．手动操作器

智能手动操作器采用智能化微机技术，可实现全新的数字式调试，全机无电位器。采用轻触式面板按键进行操作，只需修改内部参

数，即可进行校对及量程变更，能自动跟随输入值进行控制输出，可同时显示（LED数码显示）外给定信号及反馈信号的测量值等。

手动操作器的技术参数为：模拟输入信号为 DC 4~20mA，模拟输出信号为 DC 4~20mA，测量精度为0.2%，分辨率为1个字，显示方式为0%~100%。参数由面板轻触式按键设定，参数设定值在断电后永久保存，供电电压为AC 220V，功耗不大于5W。

HR-WP-D935智能手动操作器的LED显示面板如图7-26（a）所示。其中，AL1、AL2分别为报警指示灯，A/M为功能指示灯，PV、SV显示器均为LED数码显示器。

在参数设定状态下可显示参数符号及参数设定值。在正常运行时，PV LED显示器显示变频器的频率输出（百分数），SV LED显示器显示手动操作器的手动给定值（百分数）。SET为参数选择键，“▲”为设定值增大键，“▼”为设定值减小键，RST为复位键。

手动操作器的接线如图7-26（b）所示。AC 220V电源来自变频器控制框，端子⑨、⑩为手动控制的电流输出端，分别接至变频器的控制端AI2、COM。端子、为电流输入端，接至变频器的模拟电流输出端AO1及COM。手动操作器的参数设定如下。

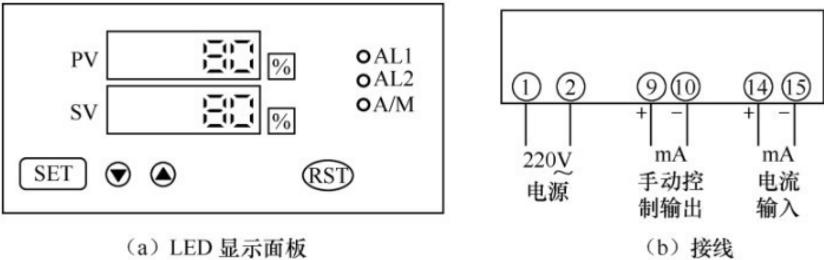


图7-26 HR-WP-D935智能手动操作器

① 显示方式参数DIP1 = 03（PV LED显示变频器频率实际值，SV LED显示手动给定值）。

② 输出方式1T = 2（模拟控制输出），输出下限10UL = 4(mA)，输出上限10UH = 20(mA)。

③ 输出类型 OUT = 0（模拟量控制输出），控制输出下限 OUL

= 0%，控制输出上限OUH = 100%。

④ 外给定输入分度号1SLO = 12。

⑤ 外反馈量程下限1PVL = 4mA，外反馈量程上限1PVH = 20mA。

⑥ 外给定量程下限1SLL =4mA，外给定量程上限1SLH = 20mA。

⑦ 其他参数按使用手册规定值设定。

7.10 FR变频器在中央空调冷冻泵中的应用

1．泵类负载的变频节能原理

某大厦的中央空调系统有3台型号为SB-X-125-100-169K的冷冻泵，流量为200m³ /h，扬程为31m，配用功率为30kW的笼型异步电动机，采用Y-△降压启动方式。在中央空调运行期间，空调负荷是不断变化的，原有的冷冻泵采用改变阀门开度的方法调节流量。当阀门不是全开的时候，水流能量消耗在阀门上，既浪费了能量又缩短了阀门的使用寿命。在一般情况下，泵都工作在额定条件下，按最佳工作条件设计操作。图7-27所示为泵类负载的典型工作曲线，其中AB是泵的性能曲线，与额定系统压力曲线OB相匹配，在B点可以得到额定压力下的额定流量，在该点泵有最高的效率。关闭阀门可控制流量，当流量减小时，泵分别工作在P、Q、R、S点，此时泵需要在很高的压差下工作，因此，泵的能量输出比实际需要多得多，多余的能量在阀上表现为热量损耗，并被液体流动时带走。用泵的输出能量除以泵的效率，可以求得对泵的总输入能量。调节泵出口阀开度来减小流量，能量损失相当大。

利用变频器调速，可使电动机驱动泵变速运行，泵的特性曲线与系统在任何流量下的需要相匹配，流量与电动机转速成正比，产生的压差与转速的平方成正比，如图7-28所示。无级变频调速后可得到

A、B、C、D等无数条水泵特性曲线，管路特性曲线与ABDC形成的区域的任何一个交点，都可作为工况点与外网水量变化相适应，在较小的扬程下达到P、Q、R、S点所对应的流量，而且只损失很少的能量，其节能效果相当可观。

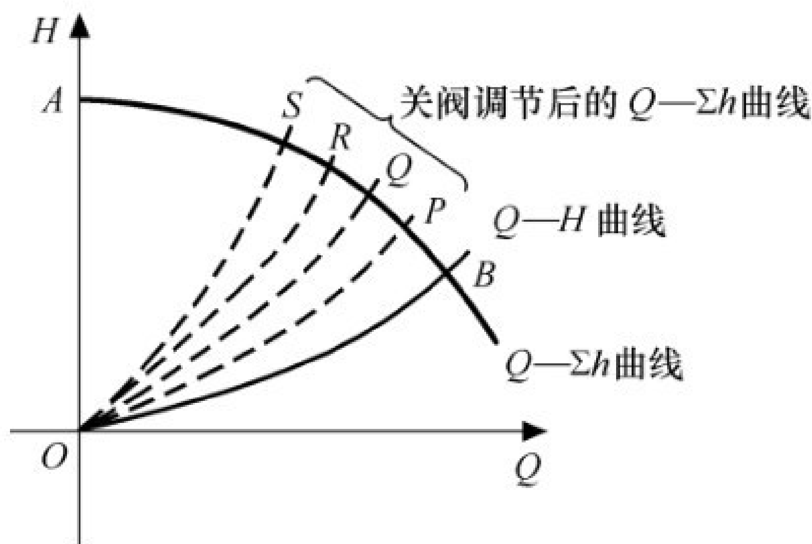


图7-27 泵类负载的曲型工作曲线

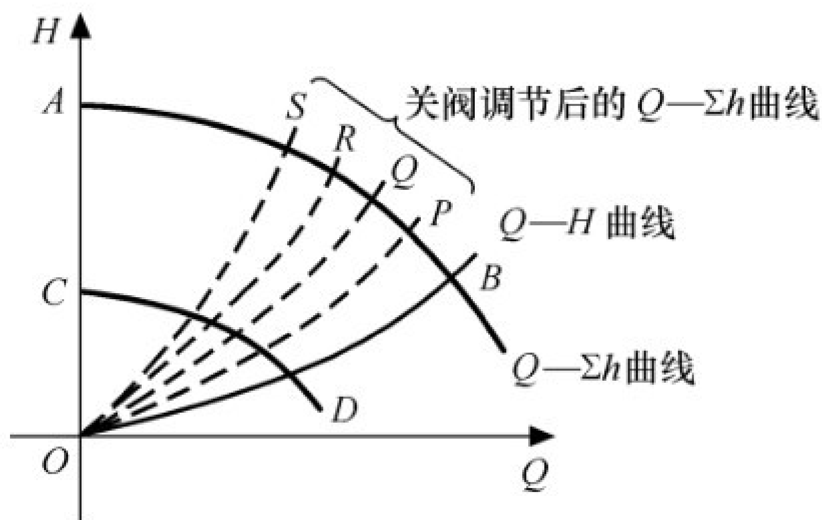


图7-28 变频调速泵的特性曲线

中央空调系统的3台泵组采用一台变频器实现循环软启动，在正常情况下，由“系统温度信号（两路）—PID—PLC—变频调速器—泵组”构成一个闭环控制回路，由此控制水泵的转速和运行状态，确保冷却水温度恒定。这样既避免了大启动电流的冲击，又取得了很好的节能效果。

每台冷冻泵组都采用“先投入，先退出”的最优运行方式，根据实际需要的冷负荷量的变化进行自动循环运行，以确保3台冷冻泵组的运行时间相同。一台冷水机组备用，当某台冷冻泵发生故障时，备用泵自动投入运行，同时系统发出声光报警。若因冷负荷量较小，一台机组便能满足供冷要求，则按照“周期切换”的方式运行。这样既有效地延长了机组的使用寿命，又降低了机组的维护费用。冷冻水泵则自动根据冷冻机组的变化而变化。

该设备自动化程度高，保护功能齐全。系统设有欠电压、过载、过热、缺相等保护停机功能，并采取了有效的抗干扰措施，系统出现故障后能自动复位。

2．变频器的选用

根据电动机的参数来选择变频器。冷冻泵配用三相笼型异步电动机，电动机的型号为Y200L1-2，额定功率为30kW，额定电压为380V，额定频率为50Hz，额定电流为51.8A，额定转速为2955r/min。

选用型号为FR-A540-30K-CH的变频器，额定输入电压为380V，额定输入频率为50Hz，额定输出容量为43.4kV·A，额定电流为57A，过载能力为120%、60s或150%、5s，具有反时限特性。选用SWP201-TR-T-2-W系列温度变送器两台。变频器的主接线如图7-29所示。在连续运行的场合，变频器的额定输出电流和电动机额定电流的关系如下。

$$\frac{Q}{Q_e}=\frac{N}{N_e}=\frac{H}{H_e}=\left(\frac{N}{N_e}\right)^2;\frac{P}{P_e}=\left(\frac{N}{N_e}\right)^3 \qquad (7\text{-}21)$$

式中：Q_e 为水泵的额定流量；P_e 为水泵的额定功率；H_e 为水泵的额定压力；N_e 为水泵的额定转速。

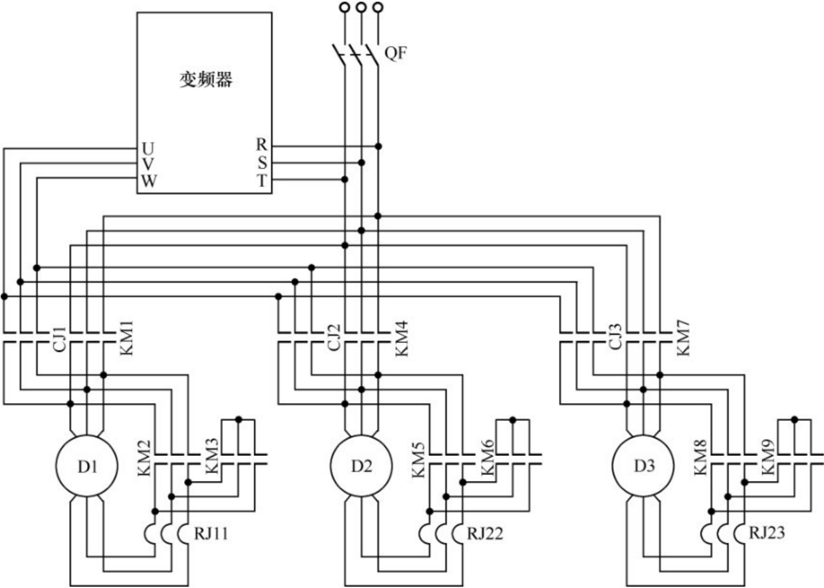


图7-29 变频器主接线图

变频器利用本身的PID功能组成温度闭环控制系统，控制冷冻泵电动机随空调负载的变化而变化。温度控制原理如图7-30所示。在图7-30中，感温探头的测量范围为0～50℃，额定工作电压为24V，输出信号为4～20mA电流信号。测量的温度信号经温度变送器放大处理后成为4～20mA的电流信号，与设定值进行比较，经PID运算后，调节变频器的输出频率，从而控制冷冻泵的转速。

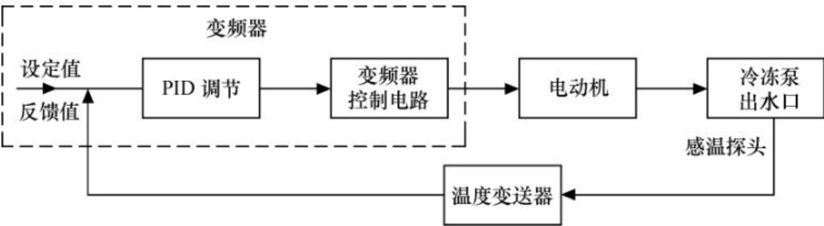


图7-30 温度控制原理图

3．变频器的参数设置

① 变频器基本参数的设置见表7-3所示。

表7-3 变频器基本参数设置

参数名称	参数号	设定值	参数名称	参数号	设定值
转矩提升	Pr.0	6%	电子过电流保护	Pr.9	57A
上限频率	Pr.1	50Hz	适用负荷选择	Pr.14	1
下限频率	Pr.2	30Hz	基底频率电压	Pr.19	380V
基底频率	Pr.3	50Hz	防逆转选择	Pr.78	1
加速时间	Pr.7	3s	操作模式选择	Pr.79	0
减速时间	Pr.8	3s	电动机功率	Pr.80	30kW
启动频率	Pr.13	5Hz	电动机极数	Pr.81	2

② 端子功能参数的定义见表7-4。

表7-4 端子功能参数的定义

参数号	作用	功能
Pr.183=14	将 RT 端子设定为 X14 的功能	RT 端子功能选择
Pr.192=16	从 IPF 端子输出正反转信号	IPF 端子功能选择
Pr.193=14	从 OL 端子输出下限信号	OL 端子功能选择
Pr.194=15	从 FU 端子输出上限信号	FU 端子功能选择

③ 运行参数的设置见表7-5。

表7-5 运行参数设置

参数号	作用	功能
Pr.128 = 21	检测值从端子 4 输入	选择 PID 对温度信号的控制
Pr.129 = 100	确定 PID 的比例调节范围	PID 的比例范围常数设定，如果比例范围较窄，反馈量的微小变化会引起执行量的很大变化

续表

参　数 号	作　　用	功　　能
Pr.130 = 10	PID 积分时间	此值设定得越小，到达设定值就越快，但容易发生振荡
Pr.131 = 100%	设定上限值	若检测值超过此值，就输出 FU 信号，检测值的 4mA 等于 0%，20mA 等于 100%
Pr.132 = 0%	设定下限值	若检测值低于此值，就输出 OL 信号，检测值的 4mA 等于 0%，20mA 等于 100%
Pr.133 = 100%	PU 模式下设定的 PID 控制设定值（目标值）	仅在 PU 模式（PU/外部组合模式）下对 PU 指令有效
Pr.134 = 3s	PID 的微分时间常数	时间值仅要求向微分作用提供一个与比例作用相同的检测值，随着时间的延长，偏差改变会有较大的响应
Pr.902 = 0	频率设定电压偏置	②～⑤端子间的电压为 0V 时设为 0
Pr.903 = 50Hz	频率设定电压增益	②～⑤端子间的电压为 5V 时设为 50Hz
Pr.904 = 0	频率设定电流偏置	④～⑤端子间的电流调至 4mA 时设为 0
Pr.905 = 50Hz	频率设定电流增益	④～⑤端子间的电流调至 20mA 时设为 50Hz

4．运行调试

首先进行脱机调试，即不连接中央空调系统，单纯调试PID控制系统，将④、⑤端子间的电流调至4mA时使Pr.904 ＝ 0，再将④、⑤端子间的电流调至20mA时使Pr.905 ＝ 50Hz。将感温探头放置在冷冻水出入口，分别设置Pr.904和Pr.905，运行中央空调系统，运行变频器。当冷冻水的回水温度降到设定值9℃时，调校好百分数为18%，设定下限频率为30Hz；当冷冻水的回水温度升到12℃时，调校好百分数为24%，设定上限频率为50Hz，使冷冻泵在冷冻水回水温度为12℃时的运行频率为50Hz。

7.11 THYFREC-VT210S变频器在空调通风系统中的应用

中央空调风机控制系统若采用原始的星—三角启动方式，启动后电动机一直满负荷运行，风量也只能靠调节风门控制。这样不仅浪费了大量电能，而且环境温度可调节范围很窄。空调通风系统采用THYFREC-VT210S通用型变频器时，对空气处理机（AHU）的电动机进行变频驱动，从而对空气处理机内的风机进行速度控制，同时起到

了节省能量、减小风机及电动机的机械应力的作用。变频调速系统的主电路如图7-31所示。

1．THYFREC-VT210S变频器

（1）控制方式

THYFREC-VT210S变频器的频率控制采用全数字准正弦波PWM控制系统，载波频率在3～12kHz间任选。该变频器的控制方式如下。

① U/F特性：恒转矩、恒功率及递减转矩，在3～440Hz范围内独立选择。

② 转矩补偿：自动/手动选择，提升范围为0%～20%，衰减范围为0%～25%。

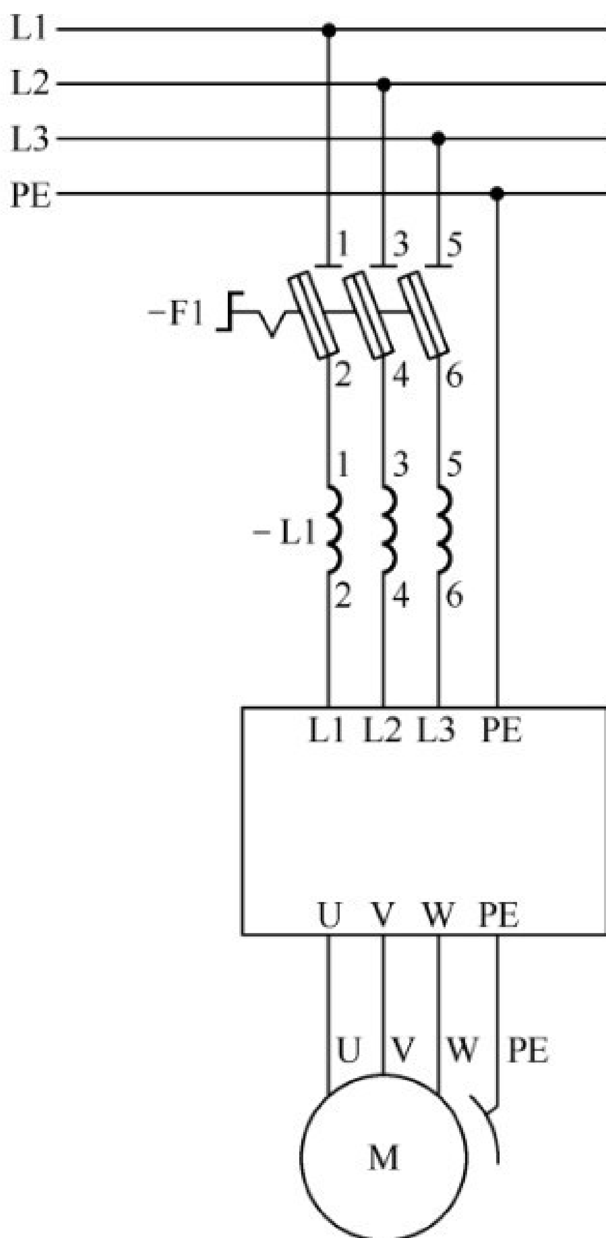


图7-31 变频调速系统主电路图

③ 启动频率：0.1～60Hz（标准设定为1.0Hz）。

④ 启动转矩：150%以上（使用明电舍公司的标准电动机）。

⑤ 加/减速时间：0.01～60000s（加、减速时间分别设定）。

⑥ 加减速方式：直线形/S形加速和减速方式任选。

⑦ 操作方式：正转、反转，往复运转，停车控制正转、反转、停止、点动。

⑧ 停车方式：减速停车和惯性停车任选。

（2）I/O接口

① 操作单元：5位7段LED、8个LED指标灯方式/单位、直接/遥控、正反转循环操作任选，所有参数均可由LED操作单元显示、修改。

② 输入信号：正转、反转、急停、故障复位、5X程序输入。

③ 输出信号：故障（继电器1-c连接）、运行（继电器1-a连接）等。

④ 频率设定输入。

⑤ 外接仪表输出。

⑥ 频率设定电源可采用DC 10V、2W、2kΩ电位器。

（3）保护特性

① 过载报警：过电流限制，OCL；过电压限制，OVL；电流检测功能可预设过载。

② 跳闸：过电流，OCL；过电压限制，OVT；欠电压，UVT；IGBT损坏；过载，OLT；过热，OHT；接地故障，GRD（选件），并具有自检功能。

③ 故障历史：4种最新的故障记录于机内，记录的内容为第一次和第二次跳闸前的频率和电流。

④ 过载能力：150%、1min，170%、2.5s（频率在0.5Hz及以下，75%、1min），反时限动作。

⑤ 重试功能：1～10次，可选择。

2．系统调试

在对 THYFREC-VT210S变频器进行调试前，首先必须测定电动机电线的绝缘性能，检查接线是否正确，然后接通电源，测试电动机转向是否正确。

（1）操作面板试运行

采用操作面板试运行的步骤如下。

① 合上电源，操作面板上的显示器显示“OFF”，此时“LCL”和“Hz”指示灯同时点亮。

② 按“FWD”键，则“FWD”灯亮，显示内容由“OFF”变成“20.00”，这是因为本机设置频率（A00-0）在出厂时设定为20Hz。

③ 按“REV”键，确认电动机是否反转运行。

④ 按“STOP”键，使电动机停止转动。

⑤ 按“FWD”键，电动机将在20Hz下正转。

⑥ 按“RST/MOD”键，这时将交替显示“A00-0”和“20.00”。

⑦ 按“LCL/SET”键，这时将停在“20.00”上，小数点闪烁，此时可以改变设置频率，可通过按“▲”和“1”键来增减输出频率值。

⑧ 按“▲”键，频率可以升高到50Hz。

⑨ 当电动机转速达到50Hz时，按“STOP”键，电动机将在90s之内减至0.00Hz，“FWD”和“REV”灯闪烁（2s），指示DC制动起作用，使电动机停车。

⑩ 按“REV”键，作反转试运行，此时就完成了用面板作试运行的操作。

（2）外部控制方式试运行

使用输入/输出端子进行外部控制，设定与外部控制相关的参数，外部控制方式可以通过主变频器的控制信号接线端子与外部设备或仪器连接，起到监视和控制作用。有关的控制方式可参考说明书中控制线路板端子功能栏进行输入/输出控制，同时按“STOP＋LCL/SET”键，控制方式可从本机控制改为遥控方式或从遥控方式改为本机控制。

7.12 ECO变频器在疏水泵上的应用

1．ECO变频器的特点

采用西门子公司生产的专门用于暖通空调（HAVC）的智能型MidiMasterECO系列变频器构成系统，具有以下优点。

① 优化的输入/输出功能：具有典型的HAVC应用所必需的控制及监控功能，有6路可编程开关量输入、2路模拟量输入/输出和2路开关量输出。

② 自动优化的调试过程：仅通过12个基本参数的设定便可以满足所有HAVC应用。扩展参数还可满足灵活的应用要求，调试简单，维护工作量小。

③ 完整的电气保护：过电压、欠电压、过电流、电动机缺相、电动机过热、接地故障、电动机堵转、变频器内部故障等保护。

④ 采用“软启动、软停止”功能，避免了“水锤现象”，并延长了电动机和水泵的使用寿命。

⑤ 长电缆运行：电动机与变频器的电缆可达150m而不需加输出电抗器。

⑥ 与楼宇管理系统的通信：内置 RS-485 通信端口，传输速率达19200bit/s，楼宇自控系统可以按照USS协议与几十台变频器采用双绞线实现所有的监控功能。

⑦ 捕捉再启动：为确保电源故障排除后的正确自动再启动，在电动机仍在运转时，变频器可以快速捕捉到电动机转速，输出与电动机同步的频率，而不会引起系统跳闸。

⑧ 能耗的优化（ECO）：在达到给定值后，控制系统会自动优化电动机的能量消耗。

⑨ 内置PID调节器模块：PID调节器与外部传感器连接，可实现精确的流量、压力或温度闭环控制，从而实现恒压、恒流量或恒湿度调节，既保证了工艺要求也达到了节能效果。

⑩ 大启动转矩：即使长时间运行后，变频器仍可确保泵类负载稳定运行，加速时自动提供附加启动转矩。

2．系统构成

本系统为可编程控制的变频液位控制系统。采用PLC，可实现手

动开环调节、自动闭环调节、远方控制及本地控制。每台电动机设置单独的控制面板，具有液位显示、频率显示、工作状态显示功能。变频调速器采用西门子公司的产品，可实现电动机的平滑调节。变频调速器加装交流电抗器及直流电抗器，确保变频调速器电源侧的谐波含量小于5%。图7-32为系统控制框图，图7-33为系统主回路原理图。

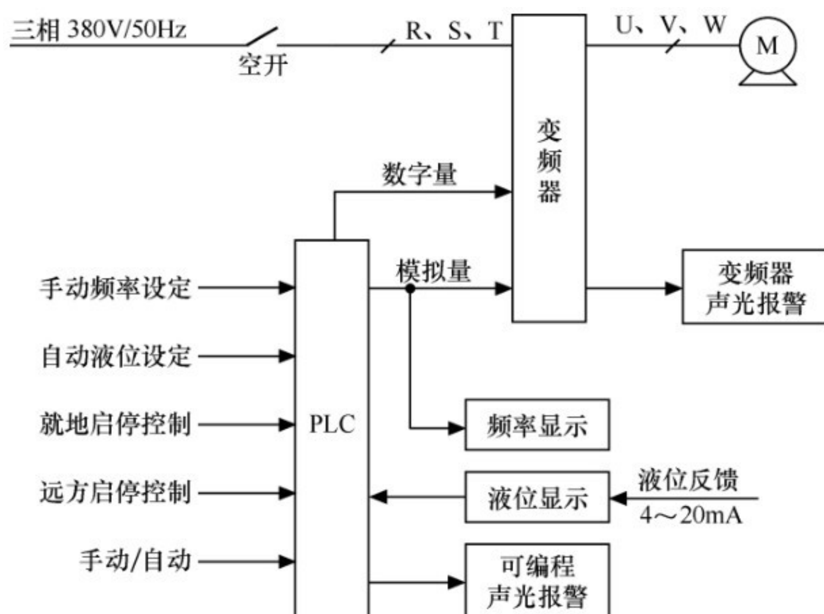


图7-32 系统控制框图

（1）自动闭环控制过程

当系统处于自动调节状态时，自动控制指示灯点亮，系统进入自动控制状态。由液位传感器输出系统的反馈信号（4～20mA），恒液位值可在PLC中人工设定，通过使用ECO变频器内部的PID控制功能，启动水泵进行变频调节运行并达到恒定的液位值，形成一个动态平衡过程。若设定液位值为Y_o，过程液位值为Y_i，当用水量增加到$Y_i < Y_o$时，则变频器输出频率上升，转速升高，供水量增大，仍达到恒定的设定液位值，从而形成一个新的动态平衡过程，实现系统的自动控制。

（2）手动开环控制过程

此系统也可采用手动开环调节方式，如液位传感器出现故障时，人为地将手动/自动开关置于手动位置，系统处于手动调节状态，手动控制指示灯亮，可在控制面板上实现频率（液位）的手动设定，手动操作变频启动水泵。如所需液位值低于实际液位值，可人为调整变频调速器的输出频率，以达到所需的液位值。

（3）辅助功能

① 就地启停功能及指示功能。当系统处于就地控制状态时，就地控制指示灯亮，可在面板处控制系统启/停及进行相关调节。

② 远方启停功能及指示功能。当系统处于远方控制状态时，远方控制指示灯亮，可由远方信号控制系统启/停及进行相关设定。

③ 报警显示。当变频调速器、PLC出现故障时，控制面板上会有相应的报警显示。

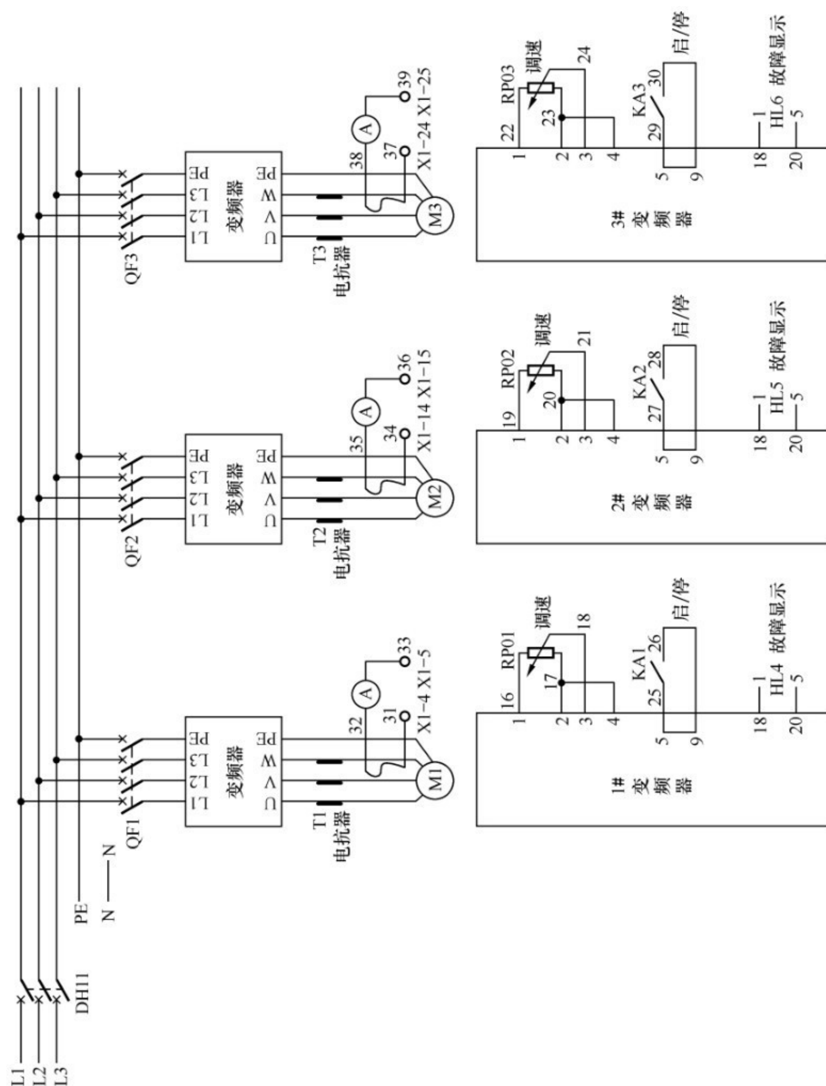


图7-33 系统主回路原理图

④ 报警解除功能。当系统出现报警时，可利用此功能来解除。

变频器主要参数的设置见表7-6。

表7-6 变频器主要参数的设置

参数	参数值	说　明	参数	参数值	说　明
自动设置方式			手动设置方式		
P006	1	选择模拟设定值	P006	0	选择数字电动电位计
P007	0	从端子选择启/停	P007	0	从端子选择启/停
P012	15	最低频率为 15Hz	P055	11	用端子⑯升高频率
P201	1	PID 使能	P056	12	用端子⑰降低频率
P202	1	PID 比例增益（参考值）			
P203	0.02	PID 积分增益（参考值）			
P220	1	在最低频率下关断			
P211	20	选择 4～20mA 模拟 PID 输入			
P212	100				

7.13 MM440变频器在给水泵上的应用

本系统采用的MM440变频器具有两路模拟量输入和内置PID调节功能，通过变频器、水压和流量检测控制装置、PLC构成自动恒压给水系统。在设计中应用模拟量输入信号1作为水的压力反馈信号（4～20mA），模拟量输入信号2作为主给定信号（0～20mA）。通过I/O端子启、停及观察变频器的工作状态，并启用变频器内部的PID 控制功能。该系统取消了外接的PID控制仪表，提高了控制精度，减少了外部故障点，并充分发挥了MM440系列变频器的PID及模拟量输入功能。图7-34为该系统的原理图。

1．变频器主要参数的设置

（1）电动机控制参数

电动机控制参数的设置见表7-7。

表7-7 电动机控制参数的设置

P304 = 380	P307 = 4.0	P311 = 2180	P1120 = 10	P1300 = 2
P305 = 7.80	P310 = 50	P1082 = 50	P1121 = 10	

（2）模拟量I/O参数

模拟量I/O参数的设置见表7-8。

表7-8 模拟量I/O参数的设置

P753.0 = 5	P756.0 = 2	P757.0 = 4	P757.1 = 0	P1000 = 7
P753.1 = 5	P756.1 = 2	P761.0 = 4	P761.1 = 0	

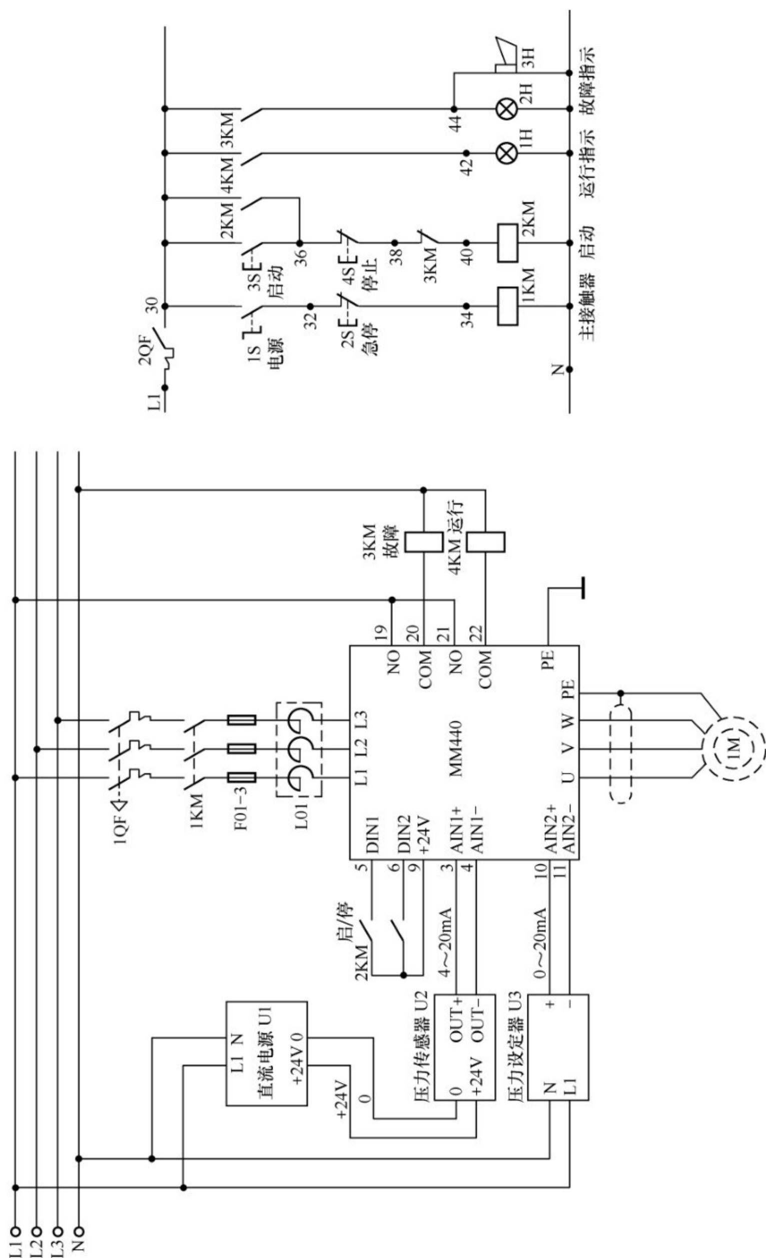


图7-34 系统原理图

（3）数字量I/O参数

数字量I/O参数的设置见表7-9。

表7-9 数字量I/O参数的设置

P700 = 2	P701 = 1	P731 = 52.3	P732 = 52.2

（4）PID参数

PID参数的设置见表7-10。

表7-10 PID参数的设置

P2200 = 1	P2253 = 755.1	P2257 = 1.00	P2258 = 1.00
P2261 = 0.2	P2264 = 755.0	P2265 = 0.3	P2270 = 0
P2271 = 0	P2274 = 0	P2280 = 3	P2285 = 0.4

MM440变频器内置PI调节器，可实现闭环控制，一旦PI调节器使能（P2200 = 1），PI调节器将调节电动机的电源频率来使其设定值和反馈值的偏差减小，通过不断比较反馈值和给定值来确定电动机所需要的频率。通常频率给定（P1000选择）和斜坡时间（P1120～P1121)自动取消，但最小和最大输出频率（P1080～P1082）设定保持有效。

PI调节器使能用参数P2200控制，PI调节器使能时应设为1。也可以用一个开关量输入（或另外的BiCo功能）来使能PI调节器。例如，PI调节器用DIN2来使能，设置P0702 = 99， P2200 = 722.1。这样变频器不运行时，允许用户在频率控制和 PI 调节器控制之间切换。PI控制器需要一个反馈信号来监控系统的运行，在大多数的场合需要一个模拟量检测元件。

传感器信号和PI控制器输出的关系必须事先定义，P2271参数有两种设置，即0和1。两者的不同在于：对于一个正偏差信号（反馈值低于给定值)，PI控制器是升高输出频率还是降低输出频率。

PI控制器通过比较实际反馈信号和系统预期设定来控制变频器的频率，系统预期被定义为给定，用户可通过参数 P2253 来选择给定源。MM420 变频器只有一个模拟量输入口，且在大多数情况下此口已作为反馈信号输入端口，所以通常给定只能使用内部设定。用“固定PI给定”或“键盘给定”（电动电位器）时，应该注意的是给定值是百

分比而不是频率值，而变频器运行频率是由PI给定值和反馈值的差决定的（当PI控制器有效时）。

① P2253 = 2224固定给定。这种方法允许用户用P2201～P2207定义7个给定，通常可以用开关量输入来切换。P2201描述了切换的方法。

② P2253 = 2250键盘（电动电位器）给定。这种方式允许用户在P2240中设定一个固定值，并可通过 BOP 或其他方式来升高或降低给定（如开关量输入 P0702 = 13 时升高， P0702 = 14时降低）。

当PI控制器用参数P2200使能后，普通斜坡上升和下降时间（P1120和P1121）被旁路。PI有自己的斜坡上升和下降时间：P2257和P2258来决定PI给定的变化。上升时间P2257：当PI给定改变或加上一个运行命令时有效。下降时间P2258：只当PI给定改变时才有效。当OFF1和OFF3有效时，斜坡下降时间将由P1121和P1135来响应。

可以通过调整比例增益P参数P2280和积分时间I参数P2285，使PI控制器适合过程控制的要求。过程控制的需求决定了响应的最佳特性，快速恢复的响应伴随着大超调。调节 P参数和I参数可以得到不同的响应。

当优化调试一个过程控制时，应用示波器来监视反馈信号，观察系统的响应曲线。通常在没有PI斜坡时间（P2257 = P2258 = 0.0s）的情况下，用一个小的PI给定阶跃（1%～10%）来试验系统的响应。一旦理想的响应确定下来，再设定合适的斜坡时间。

应在小比例（例如P2280 = 0.20）下调整I参数，直到系统稳定。通常，通过PI参数的调整可以实现稳定的控制。如果系统容易受到冲击扰动，不要使P参数设置值大于0.50。

（5）PID调试方法

在完成“快速调试”和电动机参数自动识别后，可由操作器或端子控制变频器运转。在设定PID有效（即P2200 = 1）之前，必须先带负载进行开环小给定运行。这时应注意电动机和负载是否正常，标定反馈模拟量输入通道（系数和极性）。

然后设定PID有效（即P2200 ＝ 1），将I积分参数（P2285）设置为0。在观察压力表或输出频率表的同时，从小到大缓慢调整 P 比例参数（P2280）。在调整过程中，参数值每加大一次，都要观察变频器是否以达到稳态，变频器稳定运行时压力是否稳定（是否振荡、波动）。当变频器稳定运行、压力开始波动时，记下此时的P参数值A。将A值除以3，结果写入P2280参数中。同理，在观察压力表或输出频率表的同时，缓慢地从小到大调整I比例参数（P2285）。当变频器稳定运行、压力开始波动时，记下此时的I参数值B。将B值除以2，结果写入P2285参数中。

在调整PID调节器的PI参数时，不要进行电动机切换操作。推荐先将压力给定（PID的给定值）设定为一个预定值，保证变频器运行于40Hz左右，这时再进行上述调整。等PI参数调整完毕后，再将压力给定设置到正常值，完成电动机分级切换程序的调整。

（6）控制方式的选择

变频器控制方式的选择由负荷的转矩特性决定，电动机的机械负载转矩特性根据下列关系式确定。

$$P = M \times n/9550 \qquad (7\text{-}22)$$

式中：P为电动机的功率（kW）；M为转矩（N·m）；n为转速（r/min）。

转矩M与转速n的关系根据负载种类大体可分为3种。

① 即使速度变化，转矩也不大变化的恒转矩负载。此类负载有传送带、起重机、挤压机、空压机等。

② 随着转速的降低，转矩按转速的平方减小的负载。此类负载有风机、各种液体泵等。

③ 转速越高，转矩越小的恒功率负载。此类负载有轧机、机床主轴、卷取机等。

变频器提供的控制方式有U/F控制、矢量控制、力矩控制。U/F控制又分为线性U/F控制、抛物线特性U/F控制。将变频器的参数P1300设为0，变频器工作于线性U/F控制方式下，将使调速时的磁通与励磁电流基本不变，适用于工作转速不在低频段的一般恒转矩调速

对象。

将P1300设为2，变频器工作于抛物线特性U/F控制方式下，这种方式适用于风机、水泵类负载。这类负载的轴功率近似地与转速的3次方成正比，其转矩近似地与转速的平方成正比。对于这种负载，如果变频器的U/F特性是线性关系，则低速时电动机的可用转矩远大于负载转矩，从而造成功率因数和效率的严重下降。为了适应这种负载的需要，使电压随着输出频率的减小以平方关系减小，从而减小电动机的磁通和励磁电流，使功率因数保持在适当的范围内。

可以进一步通过设置参数使U/F控制曲线适合负载特性，在0～250之间设置P1312的合适值，具有启动提升功能。将低频时的输出电压相对于线性U/F曲线作适当的提高，以解决在低频时定子电阻引起的压降导致电动机转矩减小的问题。这种方法适用于大启动转矩的调速对象。

采用变频器以U/F控制方式驱动电动机时，在某些频率段，电动机的电流、转速会发生振荡，严重时系统无法运行，甚至在加速过程中出现过电流保护，使得电动机不能正常启动，在电动机轻载或转矩惯量较小时更为严重。可以根据系统出现振荡的频率点，在U/F曲线上设置跳转点及跳转频带宽度。当电动机加速时可以自动跳过这些频率段，保证系统能够正常运行。从P1091到P1094可以设定4个不同的跳转点，通过设置P1101确定跳转频带的宽度。

有些负载在特定的频率下需要电动机提供特定的转矩，用可编程的U/F控制方式对应设置变频器参数即可得到所需的控制曲线。通过设置P1320、P1322、P1324确定可编程的U/F特性频率坐标，对应的P1321、P1323、P1325为可编程的U/F特性电压坐标。

将参数P1300 设置为 20时，变频器工作于矢量控制方式下。这种控制方式相对完善，调速范围宽，低速范围启动力矩大，精度高达0.01%，响应很快。高精度调速都采用SVPWM矢量控制方式。

将参数P1300 设置为 22时，变频器工作于矢量转矩控制方式下。这种控制方式是目前国际上最先进的控制方式，其他方式是通过模拟直流电动机的参数，进行保角变换而进行调节控制的。矢量转矩

控制是直接取交流电动机的参数进行控制，方法简单，精确度高。

（7）快速调试

在使用变频器驱动电动机前，必须进行快速调试。将参数P0010设为1，P3900设为1，变频器即进行快速调试。快速调试完毕后，进行必要的电动机数据计算，并将其他所有的参数恢复到它们的默认值。在矢量或转矩控制方式下，为了正确地实现控制，非常重要的一点是，必须正确地向变频器输入电动机的数据，而且电动机参数的自动检测必须在电动机处于常温时进行。当使能这一功能（P1910 = 1）时，会产生一个报警信号A0541给予警告，在接着发出ON命令时，立即开始电动机参数的自动检测。

（8）加/减速时间的调整

加速时间就是输出频率从零上升到最大频率所需的时间，减速时间是指输出频率从最大频率下降到零所需的时间。加速时间和减速时间选择得合理与否对电动机的启动、停止及调速系统的响应速度都有重大的影响。加速时间设置的约束是将电流限制在过电流范围内，不应使过电流保护装置动作。在电动机减速运转期间，变频器将处于再生发电制动状态，传动系统中所储存的机械能转换为电能并通过逆变器回馈到直流侧。回馈的电能将导致中间回路的储能电容器两端电压上升。因此，减速时间设置的约束是防止直流回路电压过高。加/减速时间的计算公式如下。

加速时间为

$$t_a = (j_m + j_l)n/9.56(M_{ma} - M_l) \qquad (7\text{-}23)$$

减速时间为

$$t_b = (j_m + j_l)n/9.56(M_{mb} - M_l) \qquad (7\text{-}24)$$

式中：j_m 为电动机的惯量；j_l 为负载惯量；n为额定转速；M_{ma}为电动机的驱动转矩；M_{mb} 为电动机的制动转矩；M_l 为负载转矩。

加/减速时间可根据公式算出来，也可用简易试验方法进行设置。首先，使拖动系统以额定转速运行（工频运行），然后切断电源，使拖动系统处于自由制动状态，用秒表计算其转速从额定转速下降到零所需要的时间。加/减速时间可首先按自由制动时间的 1/2～

1/3 进行预置。通过启、停电动机观察有无过电流、过电压报警，调整加/减速时间设定值，以运转中不发生报警为原则。重复操作几次，便可确定出最佳加/减速时间。

（9）转动惯量的设置

电动机与负载转动惯量的设置往往被忽视，通常认为只要正确设置加/减速时间就能保证系统正常工作。其实，转动惯量设置不当会使得系统发生振荡，调速精度也会受到影响。转动惯量的计算公式为

$$j=M/d\omega/dt \qquad (7\text{-}25)$$

电动机与负载转动惯量的获得方法一样，让变频器工作在合适的频率下，分别让电动机空载和带载运行，读出参数P0333（额定转矩）和P0345（电动机的启动时间）。再将变频器的工作频率换算成对应的角速度，代入以上公式，计算得出电动机与负载的转动惯量。设置参数P0341（电动机的惯量）与参数P0342（驱动装置总惯量与电动机惯量的比值），这样变频器就能更好地运行。

7.14 MASTERDRIVE6SE变频器在起重机大、小车行走驱动系统中的应用

1．系统配置

起重机的电动机用于驱动起升机构以及大车、小车行走机构，电动机主要采用线绕式异步电动机或笼型异步电动机。尤其是行走机构一般均采用笼型异步电动机，启动时冲击电流大，设备所受的冲击严重，噪声大，影响设备的使用寿命及定位精度。

起重机的动力传动具有大惯性、四象限运行的特点，与其他传动机械相比对变频器有着更为苛刻的安全和性能上的要求。近年来随着变频器技术的发展，其可靠性大大提高，生产成本不断降低，特别是直接转矩控制技术日益成熟（它可以最大限度地消除谐波干扰隐患），变频器才得以在起重、运输机械上使用。这类变频器大都具备

如下主要功能。

（1）转矩到位信号或转矩记忆功能

为了保证提升机构安全运行，在启动过程中，必须保证变频器在输出转矩达到负载转矩或大于负载转矩时，才能打开抱闸；制动时，速度虽然已很低，变频器能输出负载转矩，所以，变频器必须具有转矩到位信号或转矩记忆功能（例如ABB 公司的ACC600 变频器所具有的转矩记忆功能）。这样才能有效避免提升机构失控、溜钩。

（2）软化电动机特性曲线功能

多台电动机同时驱动同一刚性机构时，往往由于电动机特性的差异造成负载失衡，导致提升机单机过载或运行机构走偏。在采用绕线转子电动机驱动时可以靠转子串电阻来解决。在变频驱动系统中，可以利用电动机软化功能实现这一目的，消除不必要的能量损耗。

（3）S加/减速特性

由于机械间隙的存在，将引起传动机构启动时的机械冲击和振动，S 特性能使电动机平滑启动，可以大大减小常规起重机启动时的机械冲击，提高了起重机的安全性和延长使用寿命。

在起重机中起升机构采用变频器驱动后，就可以用笼型异步电动机取代绕线式异步电动机。笼型异步电动机结构简单，防护等级高，维护工作量小，可靠性高，适合在较恶劣环境下工作。由于变频器驱动时频率和电压都是按一定比例一定速度逐步升高或降低，因此，使得电动机启动时的冲击电流小，转速变化非常平稳，操作人员操作起来非常舒适，起升、行走定位也较准确，提高了生产效率。

根据起重机电动机驱动的特性和技术要求，采用带测速反馈接口的MASTERDRIVE6SE70系列变频器进行起升机构电动机的驱动，采用MIDIMASTERVector6SE32系列变频器进行大、小行车行走机构电动机的驱动。

起重机大车运行方向有前后要求，小车运行方向有左右要求，根据运行速度的要求又分为1～4挡，加/减速时间为3～6s。通常小车行走机构采用一台电动机，而大车行走机构需采用2～4台电动机，大、小车本身的惯性也较大。为防止电动机被倒拖处于发电状态时产生过

电压，因此大、小车变频器都配备了制动单元及制动电阻来释放能量。起重机的整个电气系统由S7-200系列PLC进行控制，变频器通过开关量端子接收PLC的控制信号。为了减少对电网的谐波污染，每台变频器均加有输入电抗器，不仅减少了高次谐波含量，同时也抑制了输入电流峰值，有利于延长整流二极管的使用寿命。电源输入端采用断路器作为变频器的短路保护。

起重机采用变频器驱动后使整机性能有较大提高，如起升及行走平滑、稳定，被吊物件定位准确，根据需要上下、前后、左右操作都可以无级变速，适应各种使用场合。加上变频器自身保护功能齐全，如对于过电流、过载、过电压等都能及时报警及停止，减少了起重机的故障，提高了安全性能。同时，变频器具有限流作用，可以减小启动时对电网的冲击，有利于系统内其他设备正常运行。图7-35为大车驱动系统的电气原理图。

2．制动单元和制动电阻

对于制动单元的安装和接线，必须注意安装环境的温度、湿度、腐蚀情况、通风状况等应符合说明书的要求，与变频器连接时尽量选用不同颜色的导线，防止 P、N 配线接反，否则将烧毁制动单元并损坏变频器。P、N配线需选用600V耐压等级的导线，配线长度应尽量短，如长度超过5m，需采用双绞线。

（1）制动单元

制动单元在系统中的连接如图7-36所示。制动单元功率开关的动作过程如下。

在减速时电动机以发电状态运行，产生再生能量。其产生的三相交流电被逆变部分的 6个续流二极管组成的全桥电路整流，使变频器内直流中间环节的直流电压升高。当直流电压达到使制动单元工作的设定值时，制动单元的功率开关管导通，电流流过制动电阻。制动电阻放出热量，吸收了再生能量，电动机的转速降低，直流侧的电压降低。当直流侧的电压降低到使制动单元停止工作的设定值时，制动单元的功率开关管关断，这时没有电流流过制动电阻，电动机继续减速运行，直流电压再次升高。当直流侧的电压高到使制动单元重新工作

时，制动单元重复以上过程，平衡直流电压，使系统正常运行。当再生能量较大时，再生制动单元的开关频率升高，使制动转矩增大，单位时间里电能转换为热能的量增大。

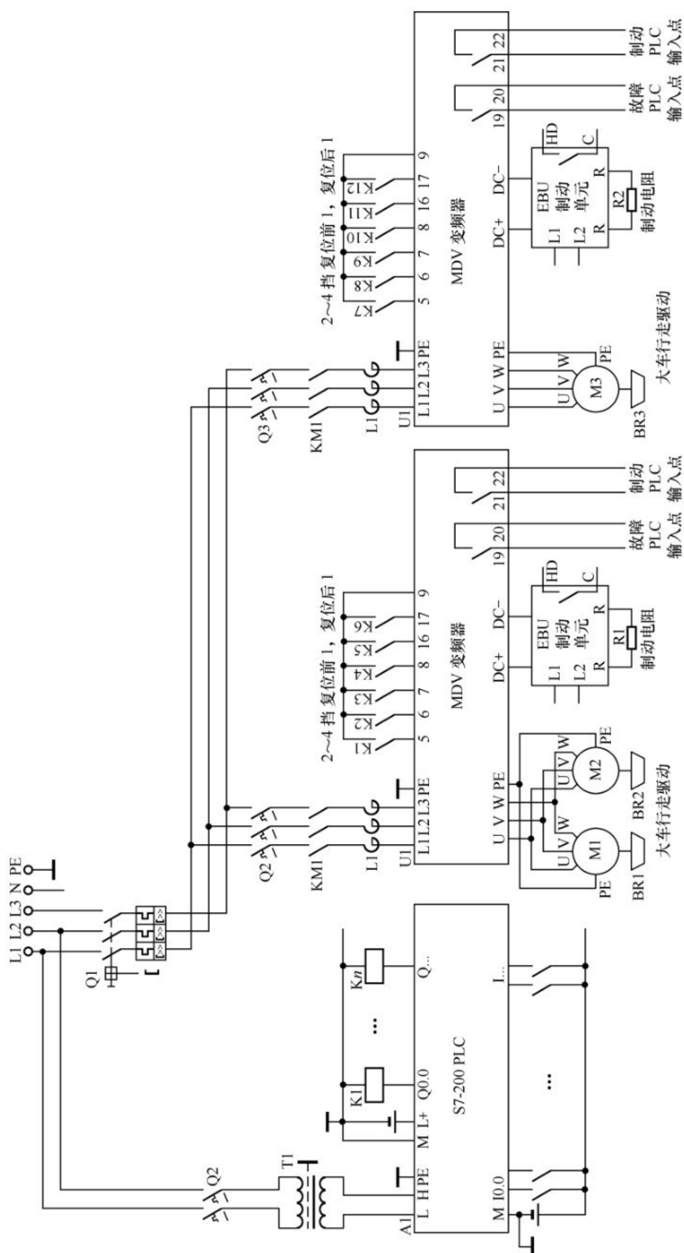


图7-35 大车驱动系统电气原理图

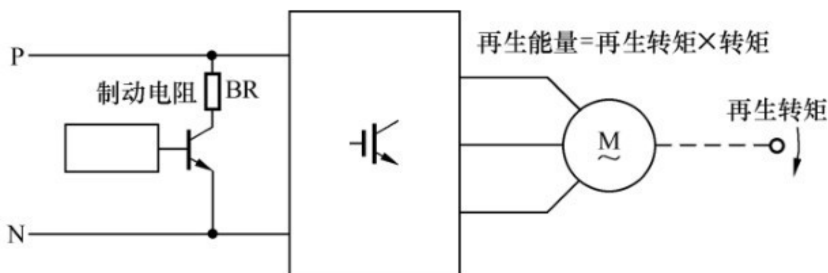


图7-36 制动单元在系统中的连接图

（2）制动电阻

在制动单元的工作中，直流母线的电压升降取决于RC常数，其中R为制动电阻的阻值， C为变频器电解电容的容量。由RC充放电曲线可得出，RC越小，母线电压的放电速度越快。在变频器中C保持一定的情况下，R越小，母线电压的放电速度越快。通常制动电阻的阻值可按下式计算。

$$R = U_c^2/[0.1047 \times (T_b - 0.2T_{MN})N] \qquad (7\text{-}26)$$

式中：U_c 为制动单元动作电压值；T_b 为制动转矩；T_{MN} 为电动机额定转矩。

在选择制动电阻时应考虑电阻连接导线的分布、电阻的温度特性等因素。选择时电阻应留有余量，一般情况下选1.2倍较合适。

3．变频器的参数及设置

（1）过电压失速防止功能

在变频器减速运行过程中，由于负载惯性的影响，可能会出现电动机转速的实际下降率低于输出频率下降率的现象。此时电动机会回馈电能给变频器，造成变频器直流母线电压升高，达到制动单元动作值。由于制动单元存在一定的使用率，如果高惯量的影响持续的话，直流母线电压就会持续升高。使用过电压失速保护功能，就能在减速运行中自动比较过电压失速点与实际的直流母线电压，若直流母线电压超过了过电压失速电压，就让变频器的输出功率停止下降，直到再次检测到后者低于过电压失速电压时，才让变频器实施减速运行。

（2）加/减速时间

由于负载惯性的影响，必须将电动机转速的加/减速时间设定为合理的数值。如果时间过短，就会出现变频器过电流、过电压等故障。如果时间过长，设备的运行功率就会大大降低。对于加速时间应在调试过程根据负载特性反复调整。

（3）变频器主要参数的设置

首先将所用电动机的铭牌数据输入P80、P85，对于大车变频器应输入几个电动机的总电流及总功率，并且大车变频器带有几个电动机时应运行于线性频率/电压特性曲线上。1～4挡速度变化采用固定频率设定，1挡为5Hz，2挡为10Hz，3挡为25Hz，4挡为50Hz。根据挡位的不同输出频率是各个固定频率的叠加，同时利用变频器的制动器接通、断开功能，由RL2输出继电器的触点控制机械制动器，使行走机构在电动机停转时不会由于外力而随意移动。变频器主要参数的设置见表7-11。

表7-11 变频器主要参数的设置

参数号	参数值	说明	参数号	参数值	说明
P002	6	加速时间（s）	P055	1	运行右转
P003	6	减速时间（s）	P0356	2	运行左转
P005	5	1 挡速度	P046	5	固定频率 5
P006	3	附加数字给定	P044	15	固定频率 4
P007	0	开关量输入控制	P043	25	固定频率 3
P051	6	固定频率 5 开/关	P061	6	故障
P052	6	固定频率 4 开/关	P062	4	外部制动控制
P053	6	固定频率 3 开/关	P077	－	*U*/*F* 特性（大车多电动机）
P054	10	故障复位	P077	－	FCC 特性（小车单电动机）

4．变频器对起重机上其他电气设备的影响

变频器的整流电路和逆变电路采用的是半导体开关器件，其输入/输出电压和电流中除了基波成分外还含有一定的高次谐波。这些高次谐波将给起重机上的其他电气设备造成不同程度的影响，严重时会使这些电气设备不能正常工作甚至误动作。这样会降低起重机整机的可靠性，危及设备和人身安全。

变频器产生的高次谐波对起重机上的其他电气设备产生的影响如

下。

① 引起电网电源波形畸变。由于变频器整流电路的直流电压是在被平波电容滤波之后输出给后续电路的，所以电源供给变频器的电流实际上是平波电容的充电电流。由于存在内部阻抗，为变频器供电的电源容量越大，变频器输入电流的波形就越陡峭，而输入电压的波形畸变则越小；电源容量越小，则电流波形越平缓，而电压的波形畸变则越大。由于电源电流和电压的波形畸变，起重机中的主电动机、抱闸推杆电动机、接触器、继电器、直流电源等设备将产生过热、噪声和振动，影响它们的使用寿命和工作的可靠性。

② 产生电磁干扰。变频器采用PWM控制方式，逆变后的变频器输出电流波形接近正弦波，在变频器的输出电压和输出电流中含有高次谐波。这些高次谐波的最高频率可达20MHz，并通过静电感应和电磁感应而产生电磁干扰。电磁干扰可分为传导干扰和辐射干扰，传导干扰通过电源导线传播，辐射干扰辐射到空中以电磁波和磁场的形式直接传播。

传导干扰中高的 du/dt 会使主电动机的绝缘性能恶化；会引起机械设备发生共振；会加大电动机轴与轴承间的轴电压，通过油膜放电使轴和轴承提前损坏。传导干扰影响控制系统正常工作，可使负荷限制器的误差更大，使电子式接近开关、光电开关误动作。

变频器的高频电磁波辐射干扰大部分集中在150kHz～1.5MHz频段，会对起重机中供通信用的无线对讲机、无线遥控器、无线吊钩秤、驾驶室收音和扩音设备及电话等产生干扰，影响其使用质量和效果。

③ 引起电动机产生噪声、振动、过热，且转矩减小。变频器输出电压的波形不是正弦波，流过电动机的电流中含有许多高次谐波。电动机在变频调速运行时，电动机绕组和铁芯会由于这些谐波而产生振动和电磁噪声。与采用工频电源直接驱动相比，变频器驱动的电动机噪声要大5～11dB。

传动系统的振动也将变大，尤其是5次、7次谐波成分所产生的脉动转矩将给变频器的转矩输出造成较大的波动，而传动系统可能因变

频器输出转矩的波动与机械系统发生共振而产生更大的振动。

由于谐波成分的影响，即使带同一负载和在同一频率下，变频调速电动机的电流也将增大5%～10%，电动机的温升也高于工频电源驱动工况下的温升。另外，由于普通电动机是通过安装在电动机轴上的冷却风扇进行冷却的，在连续低速运行时，将会因其自身冷却能力不足而产生电动机过热现象。

5．系统设计时应采取的措施

起重机电控系统的设计应围绕提高系统的可靠性这一原则开展。

（1）抑制电网电源波形畸变

抑制电网电源波形畸变的措施如下。

① 在各电动机交流进线主回路中串入电抗器。通过增设电抗器，可以减小脉冲状电流波形的峰值，达到改善电流波形的目的。电抗器的选择以电压降为负载额定电压的 2%～5%为宜，例如电压降为5%的电抗器，可降低约30%的高次谐波含有率。

② 在一次和二次回路中接入LC或RC滤波器。通过由电感、电容组成的高次谐波谐振电路，达到吸收谐波的目的。

③ 尽量采用有功率因数校正的整流电路。这种控制方式的电路结构与PWM控制方式的逆变电路结构相同，并能控制变频器的输入电流近似为正弦波，其产生的高次谐波成分非常少。

（2）抑制电磁干扰

抑制电磁干扰的措施如下。

① 对于通过电源线传播的传导干扰，可采用隔离滤波变压器对高频成分形成隔离；在直流回路中串接直流电抗器，以增大对谐波成分的阻抗；在变频器输入端串入线路滤波器。

② 辐射干扰主要取决于变频器本身的防护结构和电动机电缆的布线等多种因素，抑制辐射干扰要比抑制传导干扰困难。实施时应尽量缩短布线距离，并将导线对绞以减小阻抗；选用具有金属封闭结构的变频器，并将壳体可靠接地，将输入/输出电缆穿保护管敷设并将保护管接地；在变频器输出端设置输出电抗器和输出滤波器。

（3）降低系统噪声

降低系统噪声的措施如下。

① 采用低磁通密度有铁芯防窜措施的铸铁外壳的高刚性变频电动机。

② 选择低噪声冷却风扇和电抗器。

③ 在变频器和电动机间接入可将输出波形转换为正弦波的正弦滤波器。

（4）抑制系统振动

抑制系统振动的措施如下。

① 启动时降低U/F值。

② 将刚性联轴器改为弹性联轴器。

③ 在变频器和电动机间接入电抗器。

④ 改变PWM载波频率。

（5）防止电动机过热

防止电动机过热的措施如下。

① 将电动机由自冷方式改为他冷方式。

② 选用大一挡容量的电动机。

③ 提高电动机的绝缘等级，以达到提高温升上限值的要求。

④ 改用变频专用电动机。

⑤ 对电动机的运行范围进行控制，避免电动机连续低速运行。

7.15 ER440变频器在联动生产线上的应用

某系统采用ER440系列变频器，通过工业控制计算机和PLC，利用Profibus网络控制及变频器外部端子控制两种控制方法，对变频器进行自动及手动控制。正常时采用第1命令数据组（CDS）进行Profibus网络控制——自动控制，网络有故障时采用第2命令数据组，进行变频器外部端子控制——手动控制。在实际应用中所有变频器上都安装了Profibus模板、BOP操作面板。在硬件设置上，开关量输入1

作为第1命令数据组（CDS）的使能信号。开关量输入2作为第2命令数据组的变频器启动、停止信号。开关量输入3作为第2命令数据组的变频器电动电位器升速信号。开关量输入4作为第2命令数据的变频器电动电位器减速信号。变频器运行时的各种状态及现行值均通过网络传送给 PLC，再经过工业控制计算机（软件Wcc）进行显示及控制。图7-37为系统的电气原理图。

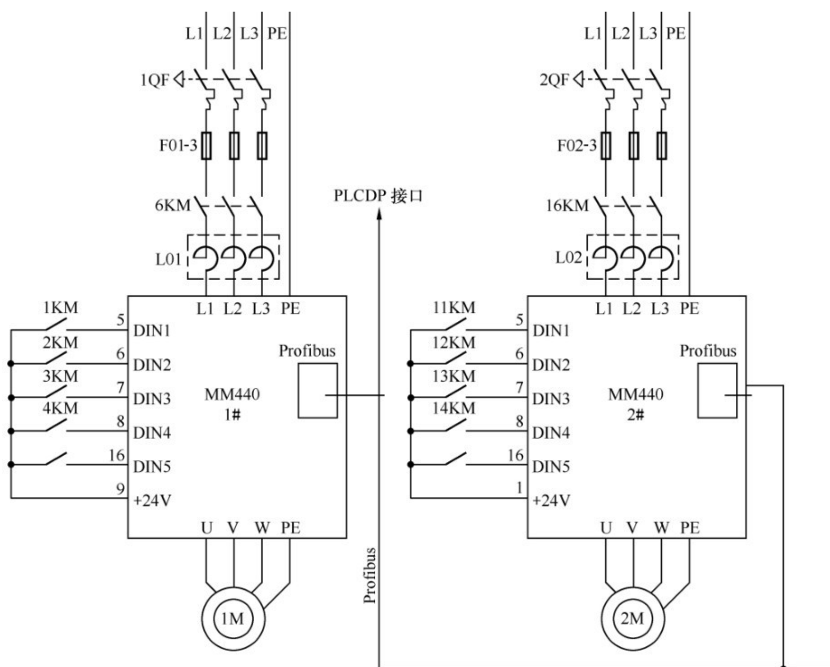


图7-37 系统电气原理图

1．变频器主要参数的设置

（1）电动机参数的设置（以一台4kW电动机为例）

电动机参数的第1和第2驱动数据组DDS的设置参数均相同，见表7-12。

表7-12 电动机参数的设置

P100 = 0	P304 = 380	P305 = 7.80	P307 = 4.00
P308 = 0.82	P310 = 50	P311 = 1400	P1082 = 50
P1121 = 5	P1300 = 0	P300 = 2	P1120 = 5

（2）数字量I/O及BICO参数的设置

数字量I/O及BICO参数的设置见表7-13。

表7-13 数字量I/O及BICO参数的设置

P700.0 = 6	P700.1 = 2	P701.0 = 99	P810 = 722.0
P702.0 = 0	P702.1 = 1	P703.0 = 0	P703.1 = 13
P704.0 = 0	P704.1 = 14	P1000.0 = 6	P1000.0 = 1

（3）Profibus网络参数的设置

Profibus网络参数的设置见表7-14。

表7-14 Profibus网络参数的设置

P918 = 10	根据 Profibus 地址	R2090	B0: 从 CB 收到的控制字 1

2．调试方法

第一步：进行正确的矢量控制操作，必须正确地输入电动机参数值，完成电动机参数识别。调试步骤如下：

P0003 ＝ 2（允许访问2级参数）。

P0010 ＝ 1（快速调试）。

P300s：按照电动机铭牌输入电动机参数值。

P0700、P1000、P1080/2、P1120/1……选择控制模式、给定源、最小及最大频率、斜坡时间等。

P1300 ＝ 20无速度传感器矢量控制。

P1910 ＝ 1（这时将产生A0541报警）。

P3900 ＝ 1。

当计算电动机参数时，BOP面板将出现“----”近1min，之后A0541将在BOP上闪烁，表示快速调试完成。按运行键，电动机开始自动识别测试程序，A0541将继续闪烁。电动机中通过短时电流，进行一系列计算，并可听到“嗡嗡”声。当计算电动机内部参数时，BOP上仍显示“----”。这时必须对冷态电动机进行操作，另外确保正确输入电动机周围环境的温度到P0625参数中，特别是在周围温度和工厂设定值20℃不一样时。这一步必须在完成快速调试（P3900）之后，进行电动机参数识别之前完成。

设置P1910＝3（饱和曲线识别）能提高性能。做这一步，不必

进入快速调试。一旦P1910设置成3，A0541出现后，给出一个RUN命令。这时变频器已经可以在SVC下运行了。

第二步：速度调节器的特性优化。

电动机识别和初始参数设置完成后，在无速度传感器矢量控制方式下，电动机可运行到50Hz。为了得到理想的矢量性能，应按照电动机/负载系统来优化矢量控制的调节器参数。设置以下参数可提高系统性能：

P0003 ＝ 3。

P0342：负载总转动惯量与电动机转动惯量之比。P0342如果已知或能被估算，应适当设置。

P1470：无速度传感器矢量控制比例参数P。

P1472：无速度传感器矢量控制积分时间I。

P1470和IP1472：这两个参数的设置可适应广泛的应用，最优的设置依赖于整个机械系统。通过观测系统的响应，增大P参数和减小I参数可得到好的特性。最好通过示波器观察未滤波的输出频率波形（P0771＝66）来调试PI参数。

P1610：SVC转矩提升，默认值设置为50%，可以增大低速时的转矩。

P1750：使能观测器模式。设置P1750.0 ＝ 0，允许当频率给定从0到大于5Hz时投入观测器模式；设置P1750.1 ＝ 0，允许频率给定大于0Hz时就投入观测器模式。在一般应用场合，无传感器矢量控制模式在大于5Hz时投入或转换观测器模式。

P1755：无速度传感器矢量控制的起始频率。当需要进一步优化矢量控制时，也可以减小该参数到工厂设定值5Hz（电动机额定频率的10%）以下。

进行这一步优化调试时，为了得到最佳的系统响应特性，可使用示波器观察速度调节器的输出，通过其输入叠加信号的阶跃响应来确定有关参数。

例如：

P0771.0 ＝ 1482（将速度调节器的输出连接至模拟量输出1，供

示波器观察）。

P1140.0 ＝ 0（将斜坡积分器设置为无效）。

P1071.0 ＝ 755.0（将模拟量输入1设为主给定）。

P1075.0 ＝ 755.1（将模拟量输入2设为附加主给定，亦即叠加信号）。

在模拟量输入2回路中串入一开关控制模拟量输入2（叠加信号），这时启动变频器，将模拟量输入1逐渐由零升速到某一定值（以避免对负载的冲击）。然后，将模拟量输入2逐渐由零加到模拟量输入1的5%～10%。通过开关的开闭（即叠加信号的投入与撤销），观察示波器上显示的速度调节器的输出信号波形，确定速度调节器PI的参数，得到最佳的系统响应特性。等确定好理想响应波形后，依照原系统要求，恢复I/O端子的功能设定和给定值通道。

进行该项调试时，需要对控制系统和负载比较了解，以免造成不必要的意外。对于特殊的负载（如高动态、对速度级联有高要求），可能还需要在带载运行时微调速度调节器 PI的参数，可得到较高的系统性能。

3．PLC与变频器连接时应注意的问题

PLC是一种进行数字运算与操作的控制装置。PLC作为传统继电器的替代产品，广泛应用于工业控制的各个领域。由于PLC可以用软件来改变控制过程，并具有体积小、组装灵活、编程简单、抗干扰能力强及可靠性高等特点，特别适合在恶劣环境下运行。

（1）开关指令信号的输入

变频器的输入信号中包括对运行/停止、正转/反转、微动等运行状态进行操作的开关型指令信号。变频器通常利用继电器触点或具有继电器触点开关特性的元器件（如晶体管）与PLC相连，得到运行状态指令，如图3-3所示。

在使用继电器触点时，常常因为接触不良而带来误动作；使用晶体管进行连接时，则需考虑晶体管本身的电压、电流容量等因素，以保证系统的可靠性。

在设计变频器的输入信号电路时还应该注意，当输入信号电路连

接不当时，也会造成变频器误动作。例如，当输入信号电路采用继电器等感性负载时，继电器开闭产生的浪涌电流带来的噪声有可能引起变频器误动作，应尽量避免。图3-4与图7-38给出了正确与错误的接线例子。

当输入开关信号进入变频器时，外部电源和变频器控制电源（DC 24V）之间有时会发生串扰。正确的连接方法是利用PLC电源将外部晶体管的集电极经过二极管接到PLC上。

（2）数值信号的输入

变频器中也存在一些数值型（如频率、电压等）指令信号的输入，可分为数字输入和模拟输入两种。数字输入多采用变频器面板上的键盘和串行接口来给定；模拟输入则通过接线端子由外部给定，通常通过0～10V/5V的电压信号或0/4～20mA的电流信号输入。由于接口电路的输入信号不同，必须根据变频器的输入阻抗选择PLC的输出模块。图7-39为PLC与变频器之间的信号连接图。

当变频器和PLC的电压信号范围不同时，如变频器的输入信号为0～10V而PLC的输出电压信号为0～5V时，或PLC一侧的输出信号为0～10V而变频器的输入电压信号为0～5V时，由于变频器和晶体管的允许电压、电流等因素的限制，需用串联的方式接入限流电阻，以保证进行开闭时不超过PLC和变频器的相应容量。此外，在连线时还应注意将导线分开，保证主电路一侧的噪声不传到控制电路中。

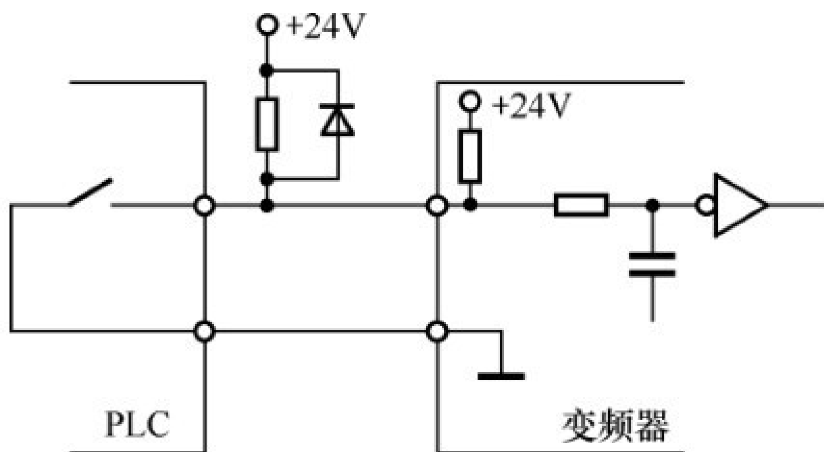


图7-38 变频器输入信号的错误接入方式

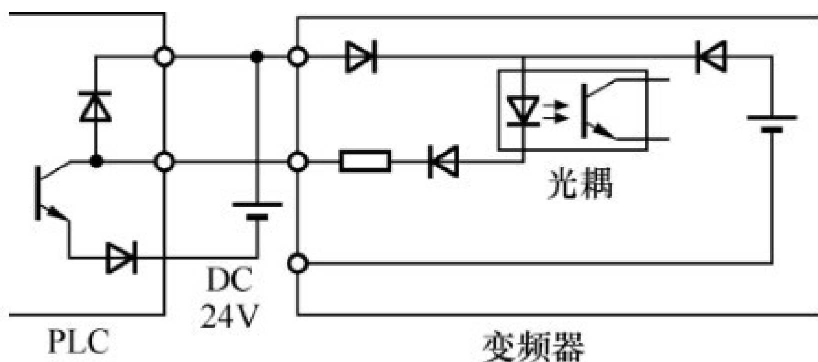


图7-39 PLC与变频器之间的信号连接

通常变频器也通过接线端子向外部输出相应的监测模拟信号，电信号的范围通常为 0～10V/5V 或 0/4～20mA。无论是哪种情况都应注意：PLC 一侧输入阻抗的大小要保证电路中的电压和电流不超过电路的允许值，以保证系统的可靠性和减小误差。

因为变频器在运行中会产生较强的电磁干扰，为保证PLC不因为变频器主电路断路器及开关器件等产生噪声而出现故障，将变频器与PLC相连接时应该注意以下几点。

① 对PLC本身应按规定的接线标准和接地条件进行接地，而且应注意避免和变频器使用共同的接地线，且在接地时使二者尽可能分

开。

② 当电源条件不太好时，应在PLC的电源模块及输入/输出模块的电源线上接入噪声滤波器和供降低噪声用的变压器等。另外，若有必要，在变频器一侧也应采取相应的措施。

③ 当把变频器和 PLC 安装于同一操作柜中时，应尽可能使与变频器有关的导线和与PLC有关的导线分开。

④ 通过使用屏蔽线和双绞线达到提高噪声干扰的水平。

PLC和变频器连接应用时，由于二者涉及用弱电控制强电，因此，应该注意连接时出现的干扰，避免由于干扰造成变频器误动作，或者由于连接不当导致PLC或变频器损坏。

参考文献

[1] 周志敏．中压变频器主流技术发展动向．冶金动力，2000（6）．

[2] 周志敏．中压变频器拓扑结构．今日电气，2003（2）．

[3] 周志敏．变频调速系统应用中的问题分析．工控与变频，2004（5）．

[4] 周志敏．变频器在小区恒压供水系统中的应用．工控与变频，2003（11）．

[5] 周志敏．变频系统抗干扰技术．工控与变频，2003（3）．

[6] 周志敏．变频调速系统设计中问题分析．能源技术，2002（2）．

[7] 周志敏．MICO340变频器构成电梯控制系统特性分析．能源技术，2002（3）．

[8] 周志敏．中压变频器主流技术发展动态．能源技术，2002（5）．

[9] 周志敏．变频调速系统抗干扰设计．变频器世界，2004（10）．

[10] 周志敏．中压变频主流技术发展动向．机床电器，2001（2）．

[11] 周志敏．变频器控制算法的分析与应用．变频器世界，1999（3）．

[12] 周志敏．变频器在烧结配料自动化中的应用．变频器世界，1999（4）．

[13] 周志敏．推广交流变频技术与可持续发展战略．变频器世界，1999（5）．

[14]　周志敏．变频器运行中高次谐波的产生与抑制．变频器世界，1999（10）．

[15]　周志敏．变频器在建筑电气传动领域市场展望．变频器世界，1999（9）．

[16]　周志敏．FR-A240E变频器在方坯连铸机高效改造中的应用．变频器世界，2000（7）．

[17]　周志敏．中压变频技术动态与市场展望．电源技术应用，2002（11）．

[18]　周志敏．变频器控制方式及应用选型．电源技术应用，2002（9）．

[19]　周志敏．中压变频器的发展与应用．电子元器件应用，2002（7）．

[20]　周志敏，周纪海，等．变频器——工程应用电路、电磁兼容、故障诊断．北京：电子工业出版社，2005.

[21]　周志敏，周纪海．变频电源实用技术——设计与应用．北京：中国电力出版社，2005.

[22] 周志敏，周纪海．变频调速系统设计与维护技术．北京：中国电力出版社，2007.

[23] 周志敏，周纪海．变频器使用与维修技术问答．北京：中国电力出版社，2008.